

CIRAD
Cultures Annuelles

I.S.R.A
Centre National de Recherches Agronomiques

CONTRAT N° TS3* CT93-0216

**PROJET RÉALISÉ AVEC LA CONTRIBUTION FINANCIÈRE
DE L'UNION EUROPÉENNE**

**Atelier des Partenaires du Projet “ Amélioration génétique de l'arachide
pour l'adaptation à la sécheresse ”**

Bambey, 30 septembre - 02 octobre 1997

Compte - Rendu

**Danièle Clavel , *Coordonnatrice*
Janvier 1998**

CONTRAT N° TS3* CT93-0216

**PROJET RÉALISÉ AVEC LA CONTRIBUTION FINANCIÈRE
DE L'UNION EUROPÉENNE**

**Atelier des Partenaires du Projet “ Amélioration génétique de l'arachide
pour l'adaptation à la sécheresse ”**

Bambey, 30 septembre - 02 octobre 1997

Compte - Rendu

**Danièle Clavel , *Coordonnatrice*
Janvier 1998**

Compte Rendu de l'Atelier des Partenaires du Projet "Amélioration génétique de l'arachide pour l'adaptation à la sécheresse "

Bambey, 30 septembre - 02 octobre 1997

D. Clavel, *Coordonnatrice*

Introduction

Le projet "Amélioration génétique de l'arachide pour l'adaptation à la sécheresse" est soutenu financièrement par la CCE (DGXII) depuis 1985. Il associe cinq pays autour du Sénégal, pays sahélien, gros producteur d'arachide particulièrement touché par la sécheresse. Un colloque sur la résistance à la sécheresse organisé à Dakar en 1984 par le CIRAD et l'ISRA avait permis d'en asseoir les bases scientifiques grâce aux résultats que la recherche sénégalaise avait acquis dans ce domaine depuis 1957. En effet, au début des années 80, il ne faisait malheureusement plus de doute que les premières sécheresses apparues au milieu des années soixante traduisaient une situation durable d'évolution climatique : la pluviométrie dans le Sahel apparaît, depuis lors et jusqu'à présent, fixée à un niveau beaucoup plus bas qu'auparavant.

La longue tradition de culture de l'arachide en milieu sub-sahélien, l'intérêt de cette espèce tant sur le plan économique (culture de rente, culture vivrière et fourragère) que sur le plan agronomique (intérêt de la rotation culturale avec une céréale) dans cette région, le fait que l'arachide présente naturellement une grande plasticité de comportement et notamment une bonne résistance à la sécheresse justifiaient pleinement qu'un thème de recherche sur la sécheresse soit appliqué à cette espèce.

La démarche scientifique adoptée dès le démarrage du projet en 1985, s'appuyant sur des travaux antérieurs réalisés au Sénégal, était ambitieuse. Son but, clairement affiché, était la création de variétés d'arachide résistantes à la sécheresse et son moteur, des recherches intégrées et pluridisciplinaires avec deux disciplines majeures - la sélection et la physiologie - mais aussi un appui indispensable de l'agro-météorologie, de la génétique et de l'agronomie. Cela supposait donc des recherches méthodologiques en physiologie et en génétique pour mettre au point les méthodes permettant d'atteindre l'objectif de création variétale pour une large gamme de milieux touchés par la sécheresse.

Le projet, aujourd'hui dans sa troisième phase, approche de son terme en ce qui concerne le soutien financier de la CCE/DGXII. Il affiche des résultats en matière de création variétale dont les quatre pays du Sud directement concernés, Sénégal, Burkina Faso, Brésil et Botswana, tireront des bénéfices à court terme si leur valorisation ne se heurte pas à une rupture brusque de financement. Les acquis méthodologiques sont réels et moins fragiles mais le bénéfice tiré de la poursuite des travaux pourrait profiter à un plus grand nombre d'équipes de recherches bien au delà de l'espèce arachide. L'intérêt des pays concernant cette recherche ne fait aucun doute malgré sa difficulté. Difficulté principalement liée à la variabilité du stress dans l'espace et dans le temps et à la variété des réponses des plantes mais également aux coûts des techniques d'évaluation physiologique et à la durée incompressible des programmes de création variétale. Mais confiance de ces institutions car les premiers résultats montrent qu'une nouvelle génération de variétés qui aideront les paysans des régions aujourd'hui marginalisées par la sécheresse pourra leur être proposée dans les années qui viennent.

Les principaux résultats, les recherches en cours, les questions qui restent ouvertes ou celles qui se posent aujourd'hui ont été abordés lors de cet atelier. Les recherches d'amont conduites au Sénégal, en France et au Portugal ainsi que les programmes de sélection conduits au Sénégal au Burkina Faso et au Botswana ont été présentés aux partenaires et aux chercheurs de l'ISRA et du CERAAS invités à cette réunion. L'apport important que la connaissance de la génétique des populations pourrait fournir au programme a été explicité grâce à une intervention spécifique organisée par le CIRAD. Des visites de parcelles expérimentales ont permis d'illustrer et d'approfondir les questions techniques. Enfin les perspectives de collaboration et l'exploration des voies de financement possible pour la poursuite de cette recherche ont été discutées. Tels étaient les objectifs de l'atelier dont il est rendu compte dans ce document.



Programme de la Réunion

Mardi 30 septembre

- 9h - 9h15 Accueil et installation des participants
- 9h 15 -10h Ouverture par le Directeur du CNRA de Bambey
Présentation et adoption de l'ordre du jour / Mme D.CLAVEL
- 10h- 11h00 Communication du partenaire CIRAD (France) / M. J. GAUTREAU
- *"Historique et bilan des recherches concernant l'adaptation à la sécheresse chez l'arachide en Afrique et dans le cadre des projets STD"*
Questions-Réponses
Pause café
- 11h30 -12h30 Communication du partenaire ISRA (Sénégal) / Mme D. CLAVEL
Présentation générale du projet "Amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide."
Questions-Réponses

Déjeuner au Centre d'accueil de Bambey
- 14h30- 15h30 Communication du partenaire INERA (Burkina Faso) / M. B.ZAGRE
"Synthèse des résultats de recherche sur l'arachide au Burkina Faso en amélioration génétique dans le cadre du projet résistance à la sécheresse."
Questions - réponses
- 15h30- 16h30 Communication du partenaire EAN (Portugal)/ Mme Do Ceu MATOS
"Contribution des aspects physiologiques à l'amélioration génétique de la résistance à la sécheresse".
Questions-réponses
Pause café
- 17h - 18 h Communication du partenaire ISRA (Sénégal) / Mme D. CLAVEL
"Etude de paramètres morpho- physiologiques en rhizotrons de huit variétés d'arachide en vue d'une amélioration des tests de sélection pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse."
Questions-réponses

Mercredi 1^{er} octobre

- 9h - 10h Communication du partenaire DAR (Botswana) / Mme MAPHANYANE
"Genetic improvment of groundnut for adaptation to drought in Botswana : A Research Progress Review".
Questions -réponses
- 10h -10h30 Communication du partenaire INRA (France) / M. Ph.BARADAT
"Des outils pour le programme de l'amélioration de l'arachide".
(Première partie)
Pause café

- 11 h - 12 h30 “Des outils pour le programme de l’amélioration de l’arachide”
(Deuxième partie)
Questions - réponses

Déjeuner au Centre d’accueil de Bambey
- 14h30 - 16h Discussions sur l’organisation et les aspects scientifiques et techniques liées à l’exécution du projet.
Pause café
- 16 h30 - 18h Points forts et points faibles des programmes conduits, attentes des partenaires et des institutions
Perspectives de collaborations : recherche d’un nouveau cadre de collaboration.
- 20 h Cocktail au Centre d’accueil de Bambey

Jeudi 2 octobre

- 8h 30-9h 30 Visite des parcelles d’expérimentation arachide de la station de Bambey
- 9h30 Départ pour Thiès
- 10h 30 Visite et présentation du CERAAS

Déjeuner au Centre d’accueil de Bambey

- 15 h - 16h Relevé de conclusions
Clôture
- Fin d’après-midi Contacts individuels
Visite de parcelles d’expérimentation arachide en milieu paysan (N’Diakane)



Liste des participants

Mme D. Clavel, CIRAD-CA¹/ ISRA², **coordonnatrice scientifique du projet**

- **Partenaires**

M.Ph. Baradat, INRA³, généticien des populations

M. J. Gautreau, CIRAD-CA, physiologiste

Mme Do Ceu Matos, EAN⁴, Physiologiste

Mme Maphanyane, DAR⁵, sélectionneur

Mme Mashungwa, DAR, sélectionneur

M. B. Zagre, INERA⁶, sélectionneur

- **ISRA**

M. A. Ba, coordonnateur Réseau Arachide (CORAF⁷)

M. C. A. Fall, sélectionneur

M. E. Marone, physiologiste

M. J. Martin, agronome

M. A. N'Diaye, physiologiste

M. O. N'Doye, sélectionneur

M. D. Seck, entomologiste, Chef du Centre de Recherche de Bambey

- **CERAAS⁸**

M. D. Boggio, biométricien

M. M. Diouf, physiologiste

M. H. Roy Macauley, physiologiste, Directeur du CERAAS

M. T. Smoes, agronome

¹ Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (France)

² Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (Sénégal)

³ Institut National de Recherches Agronomiques (France)

⁴ Estação Agronómica Nacional (Portugal)

⁵ Department of Agricultural Research (Botswana)

⁶ Institut d'Etudes et de Recherches Agricoles (Burkina Faso)

⁷ Conférence des Responsables de Recherche Agronomique Africains

⁸ Centre d'Etudes Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse (CORAF/ Sénégal)

Résumé des débats

Sept communications ont été présentées et une large place a été réservée à la discussion. Les quatre premiers exposés concernaient la présentation du projet et de ses résultats appliqués à la création variétale. Les trois suivants étaient axés sur les méthodes utilisées et les recherches d'amont. Une synthèse des interventions et des discussions qui ont suivi est présentée ci-après. La discussion finale sur les perspectives de collaboration conclura ce compte-rendu.

(1) La communication de **M. J Gautreau (CIRAD-CA)** en resituant les recherches actuelles dans leur contexte historique, a permis d'en appréhender la logique et de mesurer le chemin parcouru depuis les premières manifestations de la sécheresse dans le Sahel dans les années soixante. Plusieurs étapes de cette évolution ont retenu l'attention de l'auditoire.

- L'impact de la sécheresse, sur la productivité arachidière obligeait à recomposer entièrement la distribution des variétés d'arachide dans l'ensemble du Bassin Arachidier sénégalais.
- Ce constat, très vite intégré dans le programme de recherche sur l'arachide, a permis le démarrage d'études associant la physiologie et la sélection au niveau du programme de recherche au Sénégal.
- Toujours sous l'impulsion des chercheurs arachide, un colloque sur les stratégies de recherche possibles face à la sécheresse, organisé à Dakar en 1984, a permis de formaliser les bases méthodologiques du projet actuel et d'acquérir la confiance d'un bailleur de fond exigeant pendant près de 15 ans.
- Aujourd'hui le pari ambitieux d'associer une recherche de fond innovante et l'application de ses résultats pour le bénéfice direct des populations rurales est quasiment gagné même si de nombreuses lignées intéressantes (en fin de sélection actuellement) n'ont pas encore fait l'objet des tests pluriannuels nécessaires aux choix définitifs des variétés à vulgariser.

(2) Les méthodes utilisées et les principaux résultats obtenus à ce jour dans le cadre du projet ont été présentés par **Mme D. Clavel (CIRAD-CA)**, **coordonnatrice scientifique du projet pour l'ISRA**. Ce bilan a permis d'ouvrir une discussion sur les acquis et les voies de recherche à explorer pour améliorer l'efficacité de la sélection.

- Au Burkina Faso, au Botswana et au Brésil, les sélections généalogiques réalisées à partir de la première population ISRA en sélection récurrente ont permis d'obtenir des lignées supérieures au témoin local. Au Sénégal, ces lignées se sont montrées au mieux équivalentes au témoin mais les lignées F5 issues de la deuxième population, se montrent prometteuses. C'est le cas également au Burkina Faso. La démarche à long terme de sélection récurrente adoptée dès 1985 apparaît donc fructueuse.
- Le programme de sélection pour la précocité conduit à son terme au Sénégal, révèle depuis deux ans en station des lignées de 80 jours particulièrement productives en condition de sécheresse dont il faudra tester la stabilité de rendement dans un dispositif multilocal.
- Les résultats de recherche en physiologie de l'adaptation à la sécheresse permettent d'envisager des modifications dans les tests de criblage physiologique réalisés au cours du processus de sélection récurrente :
 - intégration de la mesure de la tolérance de l'appareil photosynthétique
 - amélioration du test de la résistance membranaire par la mise en oeuvre de dosages de lipides membranaires.
- Les aspects agronomiques de la résistance à la sécheresse doivent être mieux intégrés dans le processus de sélection : on doit s'efforcer notamment d'associer des marqueurs morphologiques et phénologiques aux mécanismes agro-physiologiques identifiés sur les variétés.

(3) Au Burkina Faso (communication de **M. B. Zagre /INERA**), l'arachide est principalement autoconsommée directement ou sous forme d'huile artisanale. L'utilisation des fanes en fourrage est très pratiquée surtout dans le nord du pays où l'élevage est important. Enfin les marchés locaux d'arachide de bouche assurent au paysan un complément de revenu indispensable. La demande locale est forte tant au niveau de l'huile qu'au niveau des graines. La production est fluctuante (autour de 100 000 tonnes/an) principalement du fait de l'irrégularité de la pluviométrie (Centre et Nord) et de la pression des maladies foliaires (Sud). Les rendements moyens sont passés de 400 à 600 kg/ha en particulier grâce à la vulgarisation de nouvelles variétés.

La discussion a porté sur l'orientation des travaux de recherche.

- Actuellement, les travaux de création variétale pour les milieux les plus secs (variétés très hâtives et hâtives) sont soutenus par le projet. Un portefeuille variétal constitué de créations variétales et d'introductions est disponible. Ces variétés ont été mises au point ou introduites dans une optique de double utilisation : huilerie-confiserie (grosses graines) ou huilerie-fourrage (forte production de fanes).
- L'impact de cette recherche dans le milieu productif passe par la diffusion des variétés dans ce milieu. Au Burkina Faso, la phase d'expérimentation dans les conditions d'exploitation paysannes est réalisée en relation avec les structures de développement. Cette phase en est à son début dans le centre du pays, aire potentielle d'adaptation des nouvelles variétés.

- Tout en poursuivant l'activité de création variétale facilitée par la fourniture régulière, à partir de l'ISRA, de populations à large base génétique pour l'adaptation à la sécheresse, l'effort doit porter aujourd'hui sur l'évaluation et la diffusion des nouvelles variétés.

(4) Au Botswana, (communication de **Mme Maphanyane, DAR, Botswana**) la production arachidière est beaucoup plus modeste qu'au Burkina, seulement 2000 tonnes pour une surface emblavée de l'ordre de 5 000 ha. Le rendement moyen en milieu paysan est très bas, de l'ordre de 350 kg/ha. Les fluctuations pluviométriques sont principalement responsables de ce faible rendement chez les petits paysans. Cependant, le fait que des rendements doublés ou triplés sont régulièrement obtenus chez les grands exploitants et en station de recherche permet de penser que l'amélioration des techniques de production devrait accroître considérablement la productivité.

Les travaux sont orientés sur la recherche de génotypes bien adaptés et plastiques et l'amélioration des facteurs techniques qui limitent la production en milieu paysan. Les motivations de ces choix ont fait l'objet des discussions.

- Les variations de rendement d'une année sur l'autre et d'une localité à l'autre sont très importantes au Botswana. En condition d'extrême sécheresse, aucune graine ne parvient à maturité et la production est limitée aux fanes.
- L'analyse de la régression des rendements sur les facteurs climatiques de la saison de culture a montré que la pluviométrie du mois de février, traduite par l'humidité relative, expliquait 68% de la variation.
- Des analyses de stabilité de rendement utilisant un modèle de régression génotype x environnement, ont montré que :
 - cette variabilité est principalement due à l'alimentation hydrique de la culture: la variation génotypique, bien que significative, est masquée par la variation due à l'environnement (années et sites). Ce fait est probablement dû aux choix variétaux antérieurs réalisés sur la plasticité de comportement à travers les sites.
 - Les variétés les plus stables (GC8-13 et ICGS 31) sont aussi celles qui sont le moins avantagées dans les environnements favorables,
 - 55-437, la variété la moins stable, est celle qui valorise le mieux les bons environnements.
- Les tests en milieu paysan où certains facteurs de production sont améliorés notamment la date de semis et le contrôle de l'enherbement montre une production très améliorée par rapport à la moyenne nationale malgré des densités de récolte extrêmement faibles. L'utilisation de faibles densités de semis par les paysans correspond à une stratégie de limitation du risque climatique à laquelle ces derniers sont attachés. Ces résultats confirment la validité des recherches actuelles sur la diffusion de variétés et de techniques améliorées.

(5) Les études sur la physiologie de l'adaptation à la sécheresse sont réalisées au Portugal sur des variétés sénégalaises choisies comme témoins d'adaptation. Le travail conduit porte sur la recherche des caractéristiques physiologiques, biochimiques et photosynthétiques des variétés

en relation avec l'adaptation à la sécheresse. La contribution de **Mme Do Ceu Matos (EAN, Portugal)** a porté sur un ensemble de résultats destinés à caractériser les variétés sur ces aspects. Cinq variétés ont fait l'objet de ces études : 57-422, 73-30, 55-437, Fleur 11 et GC8-35.

De cet exposé et des discussions qui ont suivi, il ressort différents points :

- la *conductance stomatique* de 73-30 est la plus faible mais sa transpiration cuticulaire est la plus élevée. GC8-35 accuse une chute de conductance très nette en condition de déficit hydrique.
- Les fortes conductances observées sur 57-422 et Fleur 11 semblent reliées à leurs activités photosynthétiques. En effet, au niveau de la *capacité photosynthétique*, les variétés ont été classées en 2 groupes : 73-30 et 55-437 présentent de faibles capacités et Fleur 11, 57-422 ainsi que GC8-35 présentent les valeurs les plus élevées. On retrouve ce classement au niveau de la photosynthèse nette instantanée mesurée sur 57-422, GC8-35 et 73-30.
- Par des mesures fluorimétriques et biochimiques, on a montré que la variété 57-422 est celle qui présentait la meilleure tolérance de l'appareil photosynthétique en condition d'alimentation hydrique limitante.
- Cet ensemble des résultats obtenus sur la conductance stomatique et la photosynthèse peut être mis en relation avec la croissance des plantes. En effet, l'*efficacité de l'utilisation de l'eau*, mesurée en termes de biomasse produite par rapport à l'eau consommée sous contrainte hydrique, apparaît :
 - très augmentée chez 57-422 (forte réduction de la consommation d'eau)
 - faiblement augmentée chez GC8-35
 - et très faiblement chez 73-30 (forte réduction de croissance).
- En ce qui concerne l'*évolution et la partition de la biomasse* en condition de sécheresse, on a observé :
 - une réduction de la biomasse totale chez toutes les variétés et particulièrement sur 57-422 : cette variété montre une croissance rapide quand l'eau est disponible alors que sa croissance est fortement réduite lorsque l'eau manque.
 - une augmentation du ratio partie racinaire / partie aérienne (PR/PA) moins marquée pour 73-30 que pour les deux autres variétés,
 - le meilleur ajustement de ce ratio chez GC 8-35 qui montre une forte augmentation de PR et une faible réduction de PA.
- Au niveau de la résistance protoplasmique, un classement variétal réalisé sur le critère fuite d'électrolytes mesuré *in vitro* après choc osmotique à la PEG, avait été réalisé et plusieurs fois confirmé. Il plaçait 57-422 comme très résistante et 73-30 et Fleur 11 comme très sensibles. Des mesures biochimiques sur les lipides, principaux constituants des membranes, ont été réalisées sur les membranes thylakoïdales dans des conditions plus proches de la réalité (suspension d'arrosage). Dans ces conditions, les taux de lipides sont affectés par le déficit hydrique mais on ne voit plus de différences entre 57-422 et 73-30. Le comportement de Fleur 11 doit être également nuancé. Alors que cette variété se montre sensible sur la mesure *in vitro* et sur la mesure du taux de lipides en condition de fort déficit *in vivo*, elle voit son taux de lipides augmenter spectaculairement en

condition de stress moyen *in vivo*. Ce taux augmente aussi sensiblement en condition de stress fort chez GC8-35.

- En conclusion la variété semi-tardive 57-422 semble bien posséder des caractéristiques intéressantes pour l'adaptation à la sécheresse (bonne conductance, bonne photosynthèse, bonne résistance protoplasmique) cependant son cycle de 105 jours et ses caractéristiques morphologiques (partition de la biomasse en condition de stress) ne sont pas favorables à l'adaptation à la sécheresse.

(6) Une étude des paramètres morpho-physiologiques en rhizotrons de huit variétés d'arachide en vue d'une amélioration des tests de sélection pour l'adaptation à la sécheresse réalisée en collaboration avec le CERAAS a été présentée par **Mme D. CLAVEL (CIRAD-ISRA, Sénégal)**.

La recherche de variétés physiologiquement adaptées à la sécheresse, suppose de disposer d'une méthode rapide et fiable pour sélectionner les génotypes à partir de critères physiologiques. L'objectif de cette étude était d'une part, d'améliorer la connaissance de la physiologie de certaines lignées nouvellement créées et d'autre part, de perfectionner la méthodologie de criblage variétal précoce sur tests physiologiques en rhizotrons.

Les conclusions de cette étude qui reprenait l'ensemble des variétés utilisées au Portugal ont permis :

- de déterminer les caractères les plus pertinents parmi les 21 paramètres mesurés en conditions de bonne et de mauvaise alimentation hydrique. Ces paramètres sont CRE4, Ψ_{fol4} , MSA et MSR représentant respectivement le contenu relatif en eau, le potentiel hydrique foliaire, les matières sèches aérienne et racinaire après 4 semaines de suspension d'arrosage.
- L'analyse multivariée montrant que 85 % de la variabilité observée est expliquée par les quatre variables, on a pu réaliser des regroupements variétaux sur la base de cette sélection de paramètres.
- Le groupe constitué par 57-422 et Fleur 11 est celui dont les variétés accusent des différences marquées dans l'expression de ces quatre paramètres selon que l'alimentation hydrique est bonne ou limitée. Ces variétés devraient donc bien répondre à l'irrigation. Les observations réalisées sur la croissance de 57-422 au Portugal confirme ce résultat. Cette bonne réponse agronomique en conditions irriguées a été également observée sur Fleur 11 au Sénégal.
- Le groupe constitué par les autres variétés en particulier 73-30, GC8-35 et 55-437 montre des différences moins marquées en fonction du régime hydrique. Ces variétés dont le potentiel hydrique est élevé et dont le système racinaire est limité en conditions irriguées se comporteront correctement face à la sécheresse mais n'exprimeront probablement pas des rendements très importants si l'alimentation hydrique est bonne. Effectivement, leurs performances agronomiques sont apparues modestes en conditions irriguées au Sénégal surtout pour 73-30 alors qu'en condition de déficit hydrique ces variétés se comportent mieux que 57-422. Cependant toutes ces variétés sont surpassées par Fleur 11 qui, aux caractéristiques physiologiques favorables de 57-422 associe l'avantage d'un cycle court et d'une floraison précoce

- Bien que la photosynthèse n'ait pas été mesurée dans cette étude, il est intéressant de noter la bonne concordance des groupements variétaux réalisés avec ceux que les résultats du Portugal ont permis d'effectuer sur la capacité photosynthétique.

(7) L'adaptation à la sécheresse fait intervenir des caractères multiples dont certains sont complexes (polygéniques). Pour les sélectionner tout en conservant la variabilité génétique, on a fait appel à la sélection récurrente. Le programme de sélection conduit au Sénégal est l'un des rares programmes de sélection récurrente existant sur arachide. Ce type de sélection devrait pouvoir utiliser les méthodologies de la génétique quantitative. Le manque de spécialistes dans cette discipline et l'absence de logiciel en permettant une utilisation courante font que les possibilités permises par ces méthodes sont rarement utilisées dans les programmes de sélection pour les plantes annuelles.

Certaines de ces méthodes, les plus pertinentes *a priori* en ce qui concerne l'adaptation à la sécheresse d'une autogame annuelle telle que l'arachide, ont été présentées par **M. Ph Baradat (INRA, France)** spécialiste de ces questions et concepteur d'un logiciel intégré de biométrie pour la sélection appelé **OPEP**.

Ces méthodes sont les suivantes :

- La **sélection multicaractère** passe par la construction d'**index de sélection**. Dans ces index, les effets (ou gains) génétiques sur les caractères-cibles peuvent être pondérés permettant ainsi un "dosage" des progrès génétiques sur les différents caractères. Les index utilisent toutes les corrélations génétiques entre caractères ainsi que des caractères prédictors, plus faciles à sélectionner et permettant une sélection indirecte. Leur construction nécessitent trois étapes : 1) une analyse de variance multivariable, 2) l'établissement des équations de régression du génotype sur le phénotype et 3) la pondération des différents caractères. Le logiciel OPEP réalise ces différentes étapes.
- Le principal intérêt des index est de prédire de façon optimale les gains génétiques par l'utilisation d'une combinaison libre de plusieurs sources d'information sur les génotypes et sur différents caractères. Un autre avantage est leur souplesse d'utilisation : on peut utiliser les index de sélection dans le cas de dispositifs expérimentaux très divers. Mais, en contrepartie, il sera nécessaire de toujours revenir à la base des modèles génétiques sur lesquels reposent leurs constructions pour se garantir d'une utilisation erronée : par exemple, il faudra éviter d'appliquer un index construit pour une sélection inter-population sur une sélection de type intra-population.
- L'efficacité de la sélection dépend largement de la qualité des dispositifs expérimentaux. Un dispositif en **bloc incomplet équilibré (B.I.E)** est mieux adapté à la sélection qu'un dispositif en blocs complets car il limite la taille des blocs donc leur hétérogénéité. Cependant ces dispositifs en B.I.E "classiques" sont lourds à mettre en place et à gérer dès lors que le nombre d'unités génétiques (génotypes) est important et très rigides dans leur construction. C'est pourquoi le dispositif en **bloc incomplet avec tirage au sort (ou aléatoire)** s'est imposé car il permet une grande souplesse d'utilisation du fait de l'indépendance entre le nombre de génotypes à comparer, le nombre de blocs et le

nombre de parcelles unitaires par bloc. De plus, un certain nombre de logiciels (dont le logiciel OPEP) permet de traiter statistiquement ce type de dispositifs même si une erreur d'installation est survenue.

- L'ajustement des données individuelles peut être réalisé en associant certaines variables comme, par exemple, les écarts entre génotypes voisins par rapport à la moyenne de leur unité (famille). Ces covariates doivent avoir une corrélation génétique nulle avec le phénotype. L'intégration de cette micro-variabilité environnementale ou "méthode de Papadakis" peut être facilement réalisée par le logiciel OPEP.
A noter que l'intérêt de cet ajustement comme celui du dispositif en bloc incomplet aléatoire est considérablement diminué si les observations ne sont pas réalisées au niveau individuel (chaque génotype).
- La prise en compte de l'interaction "génotype x environnement" est une méthode classiquement utilisée en sélection. Il s'agit de régressions des expressions phénotypiques d'un caractère réalisées par rapport à la moyenne des génotypes sur ce caractère dans différents milieux. Cette régression se traduit par des droites ou des courbes (régressions polynomiales). Les paramètres de stabilité sont les pentes, d'autant plus proches de zéro que l'interaction sera faible, et les déviations des performances dans chaque milieu, lesquelles traduisent une instabilité prévisible. En théorie, les sites d'évaluation devront être les moins interactifs possibles.
- L'appréciation de la contribution du génotype ou de l'environnement à la somme générale des carrés de l'interaction (ou écovaleance) est une autre des méthodes utilisables pour évaluer cette interaction. L'écovaleance peut être également utile pour étudier l'interaction dans un plan de croisement
- L'interaction peut aussi être évaluée par la comparaison des classements entre les sites en utilisant la méthode des corrélations de rangs. Celle-ci donne des valeurs variant de -1 à +1 selon l'importance et le sens de la corrélation.
- La structuration de la variabilité génétique est la recherche d'une représentation aussi proche de la réalité que possible de la variabilité génétique disponible. La quasi autogamie de l'arachide autorise à penser que la meilleure stratégie pour créer de la variabilité génétique chez l'arachide consiste recombinaison des lignées répertoriées et éloignées génétiquement, comme cela a été fait à l'origine du programme de sélection récurrente au Sénégal. L'arachide répondant mal au marquage moléculaire, l'approche moléculaire (isozymes) n'a guère été probante pour caractériser la variabilité génétique de la population en sélection. L'application de ces techniques au contrôle semencier au Sénégal ou dans d'autres pays disposant d'un système de diffusion de semences sélectionnées n'est donc pas à l'ordre du jour.
- Dans des systèmes de culture où le premier facteur limitant de la productivité est la sécheresse, un système de "culture associée" dans lequel l'association serait constituée par plusieurs variétés utiliserait obligatoirement des variétés ayant un cycle identique et court. La marge de manoeuvre pour des essais de type "essais de concurrence" est donc relativement faible. Ces essais servent à évaluer les meilleures combinaisons et les meilleurs dosages variétaux. Des essais associant les lignées érigées vulgarisées actuellement avec certaines lignées précoces à port semi-rampant disponibles grâce au programme de sélection récurrente pourraient être envisagés.

Perspectives de collaboration

Le soutien financier de la CCE /DG XII sur le contrat actuel, initialement prévu jusqu'au 30 avril 1998, s'achèvera en fait à la fin du mois de février 1999. Une prolongation de 10 mois de la durée de la convention sans allocation de fond supplémentaire a été obtenue sur la base d'une argumentation scientifique et technique. Cependant les programmes STD n'ayant pas vocation à prendre à charge les actions de recherche de façon pérenne, la fin de la convention en cours représente également le terme du financement DGXII, qui soutient ce programme depuis 1985.

Les participants ont annoncé que la programmation scientifique 1998, dernière année d'exécution du contrat, ne devrait pas souffrir d'une allocation de fonds réduite du fait de la priorité accordée à cette recherche par leurs institutions. Cependant, le préfinancement nécessaire des "10% de retenue de garantie" risque d'être difficile pour certaines structures du fait des difficultés financières et des problèmes de trésorerie qu'elles rencontrent. Cette particularité de la convention a fait l'objet d'explications en séance et d'une lettre de la coordination financière du projet (CIRAD-CA) à toutes les administrations financières concernées. Dans ce contexte, il est clair que la continuité de la recherche pour le moyen terme demeure largement soumise à l'acquisition d'un nouveau financement.

Les résultats obtenus par le projet à ce jour seront probablement confortés par une année supplémentaire d'expérimentation mais tout le bénéfice de cette recherche tant sur le plan de la diffusion variétale qu'au niveau des connaissances et des méthodes ne sera pas tiré en 1999.

Un projet futur de collaboration devra être axé sur le développement : développement des variétés dans leur milieu d'élection et développement des méthodes pour leur application à grande échelle.

Deux types de prolongement peuvent être envisagés :

- Sur le plan méthodologique, les résultats doivent être validés par la mise au point de tests physiologiques améliorés, complétés et simplifiés au maximum pour être applicables sur de grands nombres.
- Sur les variétés fixées supposées adaptées, une évaluation à grande échelle en milieu producteur doit être réalisée car le comportement au champ des variétés est un processus très complexe qui nécessite une expérimentation répétitive dans des dispositifs permettant de tirer le maximum d'information. Cette phase de validation à peine démarrée est absolument nécessaire car on ne peut résoudre tous les problèmes par des considérations purement scientifiques.

Dans ce cadre général, différentes actions de recherche ont été retenues sur la base des résultats obtenus :

Méthodologie

- En physiologie, la méthodologie de sélection est acquise, des résultats statistiquement significatifs sur les réponses variétales ont été obtenus, il reste à mettre au point une nouvelle batterie de tests qui seront applicables pour la sélection récurrente de la troisième population.
- En génétique, on peut améliorer les dispositifs de tests agronomiques afin que ces derniers permettent la construction d'index de sélection pour garantir l'efficacité de cette sélection.

Evaluation en milieu producteur

- Des lignées sélectionnées à partir de la deuxième population sont au point mais l'expérimentation comparative au champ ne commencera qu'en 1998. Il faudra la poursuivre sur plusieurs années, en différents sites et comparer les résultats en évaluant les mêmes variétés en milieu contrôlé.
- Les lignées "vulgarisables" créées à partir de la première population ou introduites doivent être comparées dans des dispositifs multilocaux permettant de mesurer l'interaction "génotype x environnement".
- La modélisation du comportement variétal en milieu contrôlé pourrait permettre de repérer des marqueurs agronomiques corrélés aux mécanismes physiologiques.
- Un volet socio-économique doit être annexé pour mieux appréhender l'accueil des nouveaux génotypes dans le milieu paysan.

En ce qui concerne les bailleurs de fonds, la DG8 de la CCE et l'AUELF-UREF pourraient être approchés. Le projet devrait être présenté par la CORAF et associer le CERAAS. Par ailleurs, les différents partenaires sont invités à sensibiliser sur un projet de cette nature leurs institutions respectives afin qu'elles soient en mesure de mobiliser des financements bilatéraux ou nationaux ou de répondre rapidement à des appels d'offre. De son côté, la coordination scientifique s'engage durant 1998 à écrire une proposition qui leur sera soumise avant proposition aux bailleurs de fonds.



A N N E X E S

1)-Projet “Amélioration génétique de l’adaptation à la sécheresse de l’arachide”. Une démarche pluridisciplinaire de sélection conduite en partenariat.

D. Clavel

2)-Etude des paramètres morpho-physiologiques en rhizotrons de huit variétés d’arachide en vue d’une amélioration des tests de sélection pour l’adaptation à la sécheresse.

D. Clavel , M. Diouf

3)-Contribution des aspects physiologiques pour l’amélioration génétique de la résistance à la sécheresse de l’arachide.

M.D.C. Matos , J.A. Lauriano

4)-Synthèse des résultats de la recherche sur l’arachide au Burkina Faso en amélioration génétique dans le cadre du Projet Résistance à la sécheresse de l’arachide.

B. Zagre , D. Balma , J. Gautreau

5)-Genetic improvement of groundnut for adaptation to drought in Botswana : A Research Progress Review.

G.M. Maphanyane

6)-Historique et bilan des recherches concernant l’adaptation à la sécheresse chez l’arachide en Afrique et dans le cadre des projets STD.

J. Gautreau

7)-Des outils pour le programme d’amélioration de l’arachide.

P. Baradat

Projet “ Amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide ”.

Une démarche pluridisciplinaire de sélection conduite en partenariat

D. Clavel, CIRAD, ISRA Centre Nord Bassin Arachidier, Bambey, Sénégal

Introduction

En quinze ans (1970-1986), les conditions pluviométriques se sont gravement dégradées dans les pays du Sahel. Cette détérioration s'est traduite pour le Sénégal par une baisse de la pluviométrie annuelle de 200mm sur l'ensemble du territoire (Figure 1). Aujourd'hui, la sécheresse est devenue de très loin le premier facteur limitant de la production agricole de la zone semi-aride dans tous les continents. En ce qui concerne l'arachide, on estime que des conditions pluviométriques limitantes, telles qu'on les connaît aujourd'hui dans une grande partie du bassin arachidier sénégalais, occasionnent environ 50% de perte en espérance de rendement des variétés.

Les travaux réalisés durant les trois contrats successifs de type STD (programme de coopération scientifique et technique pour le développement de la communauté européenne) depuis 1985 ont permis des avancées significatives tant sur le plan de la méthodologie de sélection que sur le plan de la création variétale d'arachides adaptées à la sécheresse.

Dès le premier contrat, une démarche pluridisciplinaire consistant à associer les bioclimatologistes, les physiologistes et les sélectionneurs afin d'asseoir les programmes de création variétale sur une intégration des connaissances, a été adoptée. Les différents types de sécheresse pour chaque région concernée ont été précisées grâce à la méthode du bilan hydrique de la culture appliquée dans le cas de l'arachide. Des programmes de sélection ont été lancés en fonction de la nature du déficit hydrique : raccourcissement de la durée du cycle des pluies ou déficits pluviométriques en cours de cycle. Par ailleurs ces programmes se sont appuyés sur des études génétiques des caractères physiologiques d'adaptation à la sécheresse de l'arachide.

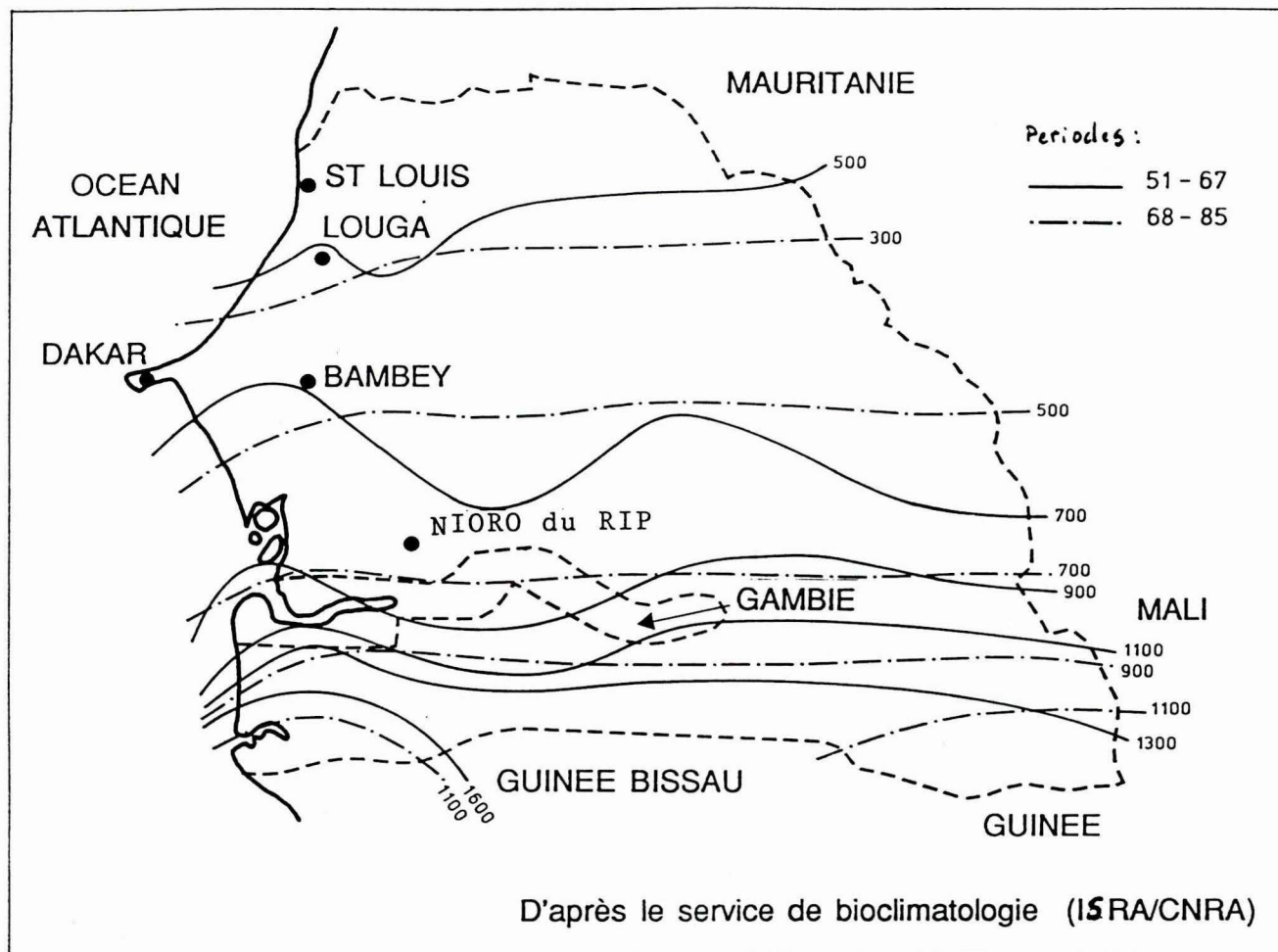


FIG. 1. — Evolution des isohyètes moyens (mm) au Sénégal durant la période 1951-1985. — (Evolution of mean isohyets (mm) in Senegal during the period 1951-1985).

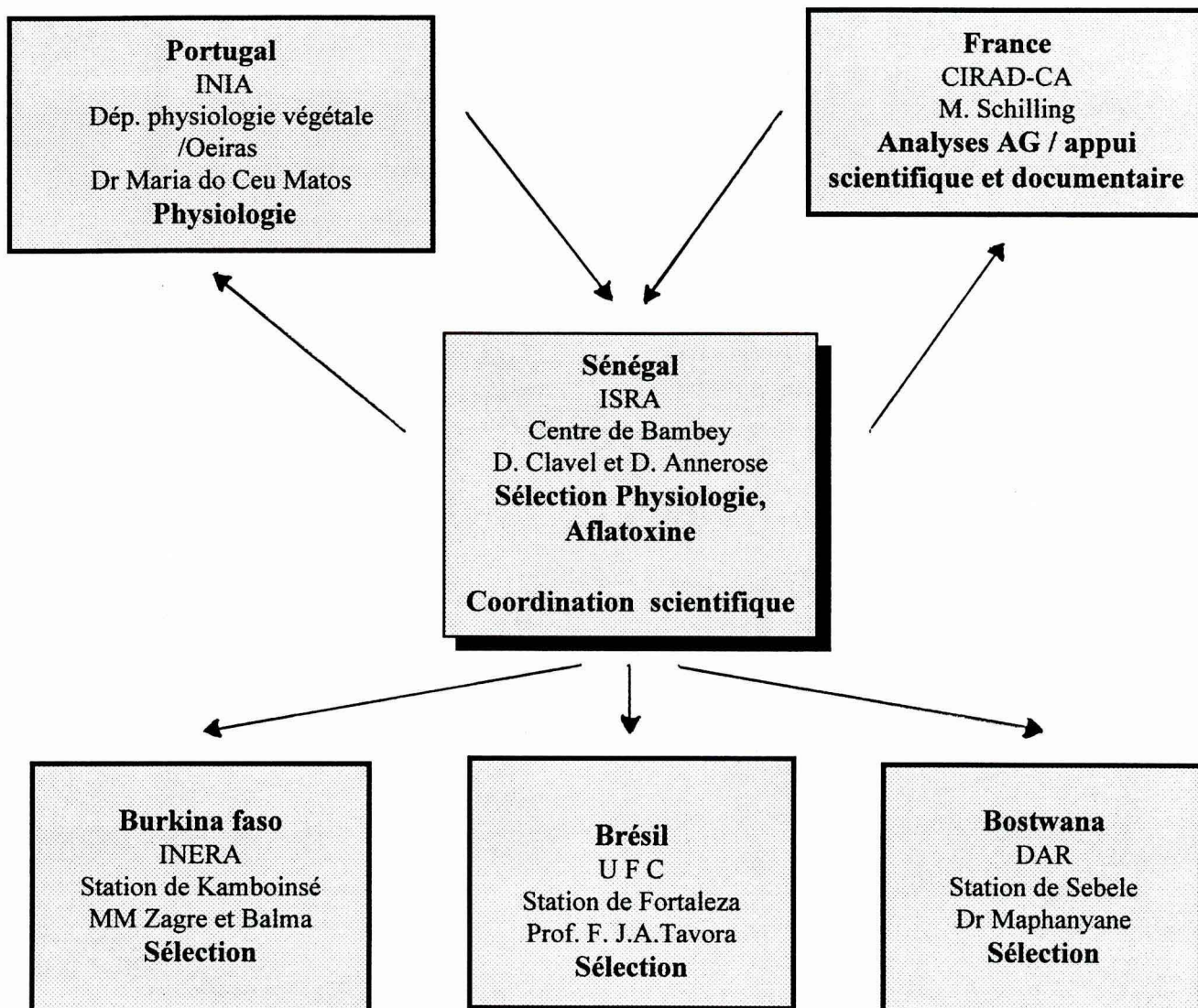
Objectifs du projet

L'objectif général est la création de nouvelles variétés d'arachide adaptées aux différentes conditions de sécheresse.

Cet objectif a été décomposé en cinq grandes actions de recherche :

- pour les régions dont le cycle de culture s'est raccourci (Nord-Sahel, Brésil), on a recherché des variétés à cycle plus court que les variétés actuellement vulgarisées mais capables de produire au moins autant. Cette méthode est également choisie pour trouver des variétés capables de compenser l'allongement du cycle de l'arachide dans les zones d'altitude comme le Botswana.
- Pour les régions affectées par des périodes de sécheresse en cours de cycle, on a opté pour une deuxième approche qui consiste à créer des variétés qui présentent des caractéristiques physiologiques leur permettant de supporter des déficits pluviométriques en cours de cycle.
- Ce deuxième objectif de création variétale est soutenu par des recherches sur la physiologie de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. La mise en évidence de caractéristiques morpho-physiologiques d'adaptation comme, par exemple, l'architecture racinaire et la régulation de la transpiration, a permis la mise au point de tests de criblage du matériel végétal par rapport à ces caractéristiques. Les recherches en cours, concernent l'activité photosynthétique et la résistance membranaire.
- Les nouvelles variétés identifiées ou créées dans les différents pays font l'objet d'expérimentation variétales pluriannuelles et multilocales afin de statuer sur leur niveau d'adaptation. Les systèmes de cultures des différents pays partenaires étant différents, des essais concernant les itinéraires techniques de production des nouvelles variétés sont également réalisés dans chacun des pays.
- Connaissant le lien étroit existant entre le déficit hydrique subi par une culture d'arachide et la contamination par *A. flavus* et l'aflatoxine et sachant, par ailleurs, que les conditions de déficit hydrique influencent la composition en acides gras des graines d'arachide, on s'est intéressé aux interactions possibles entre le comportement des variétés vis-à-vis de l'aflatoxine et leur niveau d'adaptation à la sécheresse.

Répartition des activités de recherche



Méthodes

L'adaptation à la sécheresse d'une plante ou d'une lignée est un phénomène complexe. Elle recouvre en fait des notions différentes que l'on peut définir clairement en physiologie mais qu'il est parfois difficile de distinguer dans le processus de création variétale.

Les plantes adaptées à la sécheresse peuvent se soustraire au déficit hydrique grâce à un cycle court (variétés précoces) c'est le phénomène de **l'esquive de la sécheresse**, mécanisme efficace mais dont le prix est souvent une productivité réduite.

Le deuxième mécanisme est celui de **l'évitement de la sécheresse**. Il consiste pour la plante à éviter une déshydratation trop importante de ses tissus grâce, notamment, à l'activité de son système racinaire ou à une transpiration limitée. Mais, là encore, la mise en oeuvre de ces mécanismes n'est pas sans influence sur d'autres aspects du fonctionnement de la plante : un système racinaire important chez un génotype est souvent lié à un système aérien développé qui offre plus de prise à la dessiccation qu'une surface foliaire réduite. Par ailleurs, une fermeture rapide des stomates permet de réduire la transpiration mais réduira du même coup l'assimilation photosynthétique du CO₂ donc la productivité.

La tolérance à la sécheresse au sens strict se réfère à un troisième grand groupe de caractères. Les caractères de tolérance les plus étudiés se situent au niveau cellulaire. Le premier d'entre eux est le maintien de la turgescence des cellules grâce à un ajustement du potentiel osmotique lui-même permis par l'accumulation de solutés en condition de sécheresse. Un autre mécanisme de tolérance à la déshydratation dépend de la capacité des membranes cellulaires à résister à la dénaturation de leurs constituants protéiques et lipidiques à l'occasion d'un déficit hydrique ou d'une augmentation de la température (résistance protoplasmique). Le mécanisme de tolérance est, dans tous les cas de figures, utile voire indispensable dans le phénomène global d'adaptation à la sécheresse. Cependant l'expérience montre, que les conditions actuelles d'évaluation de ces propriétés cellulaires, la sélection sur ce seul mécanisme ne peut conférer à l'arachide un niveau suffisant de résistance à la sécheresse.

Le processus de sélection doit permettre d'associer dans un même génotype, les critères physiologiques d'adaptation les plus efficaces et les plus héréditaires ainsi qu'une bonne valeur agronomique (productivité et qualité des graines). Ainsi, pour chaque type de sécheresse identifié, on a adopté des méthodes de sélection différentes selon que l'objectif recherché était un raccourcissement du cycle ou une adaptation physiologique à la sécheresse. La connaissance des différents mécanismes d'adaptation à la sécheresse de l'arachide a permis d'adopter une méthodologie de sélection, **la sélection récurrente**, qui permet d'inclure plusieurs critères physiologiques dans le processus de sélection.

■ Méthodes de sélection

L'obtention de variétés à cycle très court est recherchée par *rétrocroisement* des variétés 55-437 (vulgarisée dans le Centre-Nord du Sénégal, non dormante) et 73-30 (précoce et dormante), sur un parent donneur de précocité, Chico (75j). Afin de permettre des sorties variétales plus rapides, les premiers rétrocroisements sont repris et stabilisés par *sélection généalogique*.

Pour sélectionner des variétés physiologiquement adaptées à la sécheresse, on a choisi la voie de la *sélection récurrente* à partir de populations. Par cette méthode, on peut mettre à la disposition des partenaires des populations à large base génétique qui constituent des réservoirs de gènes d'adaptation. L'idéotype retenu après les études préliminaires, comporte un système racinaire profond et dense, une régulation stomatique "lente" (fermeture des stomates à des niveaux relativement bas de contenu relatif en eau dans les feuilles) et une bonne résistance protoplasmique à la chaleur et à la dessiccation. La population initiale est constituée par la combinaison de huit génotypes complémentaires pour l'objectif

recherché. Cette population est sélectionnée sur des critères agronomiques (tests de familles au champ) et sur ses caractéristiques physiologiques d'adaptation à la sécheresse (tests en rhizotrons et en laboratoire en conditions contrôlées). Des sous-populations sont constituées à l'issue de chaque cycle de sélection. Elles sont diffusées aux différents partenaires et utilisées pour la création de lignées adaptées aux conditions locales.

Une autre voie de création variétale, plus rapide que la sélection récurrente, a été développée pour atteindre le même objectif. Il s'agit du rétrocroisement de la variété à grosses graines, 57-422, sur la variété 55-437, qui possèdent de petites graines germant bien à pression osmotique élevée. L'objectif est de retrouver, en fin de processus, une variété ne différent du parent récurrent, 57-422, que par la petite taille de ses graines. La variété 57-422 rassemble, en effet, de bonnes caractéristiques d'adaptation physiologique à la sécheresse mais elle qui est handicapée par la taille importante de ses graines durant les phases critiques de la germination, du remplissage des gousses et de la maturation.

■ Mesures physiologiques

Des études physiologiques ont été conduites pour mieux comprendre les mécanismes de réponses de l'arachide à la sécheresse et les intégrer à la sélection. Elles ont porté sur différents critères étudiés sur les variétés utilisées dans le programme de sélection : 55-437, 57-422, 73-30 ainsi que GC8-35 (nouvelle variété vulgarisable de 80 jours) et Fleur 11 (nouvelle variété vulgarisable pour la région Centre du Sénégal).

□ *Le système racinaire*

Il a été étudié en rhizotrons. Ces derniers sont des tubes en PVC remplis d'un sol tamisé qui permettent une observation des racines *in situ*. L'alimentation hydrique y est contrôlée.

Différents paramètres sont mesurés notamment la longueur moyenne racinaire, le volume racinaire et la masse sèche racinaire.

□ *Le système aérien*

Il est apprécié grâce aux masses sèches et à une évaluation de la surface au planimètre en fin de test.

□ *La transpiration*

Le suivi de la conductance stomatique foliaire est réalisé soit par la méthode des pesées successives de feuilles détachées en cours de déshydratation (sélection) soit au poromètre LiCor (études physiologiques). L'eau transpirée est, dans le premier cas, fonction du contenu relatif en eau (CRE) des feuilles à chaque instant *t*. Le poromètre permet de mesurer la résistance à la diffusion de vapeur d'eau au niveau d'une feuille. L'inverse de celle-ci donnera l'estimation du degré moyen d'ouverture des stomates (conductance).

□ *La photosynthèse*

Les mesures sont faites sur des disques foliaires ou *in situ* (dans le cas de la fluorimétrie). Les plantes sont cultivées en pots en conditions contrôlées.

Les paramètres pris en compte sont la capacité photosynthétique maximale, l'efficacité quantique, l'activité de l'enzyme rubisco (Ribulose Biphosphate Carboxylase) et la photosynthèse nette (P_n). Les deux premiers paramètres sont mesurés par une électrode d'oxygène en conditions de lumière saturante et de CO_2 saturantes ou non. L'activité de la rubisco est mesurée sur disques provenant de feuilles déshydratées naturellement. L'état physiologique de l'appareil photosynthétique et la P_n sont étroitement liés à la fluorescence chlorophyllienne. La fluorescence est faible lorsque les réactions photochimiques de la photosynthèse sont importantes. Si le processus photosynthétique est ralenti à

l'occasion d'un stress, la fluorescence augmente au niveau des feuilles : le rapport F_v/F_m (fluorescence de l'état minimal des activités photochimiques/ fluorescence de l'état du maximum de réduction du pool de quinone) diminue.

□ *Le potentiel hydrique*

Cette mesure est réalisée sur une foliole prélevée de la 3^{ème} feuille à partir du sommet soit au psychromètre C30 à thermocouple (Wescor) soit à la presse hydraulique (PH). La méthode psychrométrique est basée sur le principe suivant : un échantillon végétal placé dans une chambre hermétiquement close générera, après équilibre de température et de pression, une humidité relative équivalente à son potentiel hydrique. La presse hydraulique permet d'observer le point d'apparition de la sève du xylème lorsque qu'on applique une certaine pression, équivalente, en valeur absolue, au potentiel hydrique. La méthode psychrométrique est la plus précise mais aussi la plus lourde c'est pourquoi un étalonnage des mesures à la PH est souvent réalisé sur la base d'un sous-échantillonnage de mesures réalisées au psychromètre.

□ *L'intégrité membranaire*

Elle est mesurée sur des disques foliaires prélevés sur des feuilles fraîches coupées au niveau du pétiole. Ces disques sont soumis à un traitement osmotique par incubation dans une solution de PEG 600 (24h). Après rinçage et trempage (10°C/18h), on mesure la fuite d'électrolytes dans la solution de trempage par conductimétrie. Le pourcentage de dégâts membranaires (PD) est alors fonction de la conductivité libre, mesurée dans les lots témoins, et de la conductivité totale, mesurée sur les lots dont les tissus foliaires sont détruits par un trempage de 1h à 95°C.

■ *Etude de l'effet de la sécheresse sur la contamination par *A. flavus* et la composition en acides gras des graines d'arachide*

La qualité de l'huile dépend de sa composition en acides gras des graines d'arachide. Celle-ci est fortement dépendante de la variété, du site et des conditions de production de l'arachide. Le déficit hydrique, en particulier, influence les facteurs de qualité et favorisent fortement les attaques par le champignon producteur d'aflatoxine, *A. flavus*. Cependant les études de l'effet de la sécheresse sur la composition en acides gras révèlent souvent des résultats contradictoires probablement dus à l'importance du facteur variétal et du type de déficit hydrique imposé dans les différentes études. Par ailleurs, dans le cadre de la recherche sur les mécanismes de la tolérance variétale de l'arachide à l'aflatoxine, il existe certaines hypothèses selon lesquelles un ratio O/L (acide oléique / acide linoléique) élevé serait favorable à la tolérance.

Nous avons étudié l'effet d'un déficit hydrique de fin de cycle en deux sites différents sur le niveau d'infestation naturelle par *A. flavus*, le niveau de contamination par l'aflatoxine en conditions de contamination artificielle par le champignon et sur la composition en acide gras d'une gamme variétale. Les variétés sont choisies en fonction de leur tolérance à la sécheresse et/ou de leur niveau de résistance à l'aflatoxine.

Résultats

■ Recherche de variétés à cycle très court

Un essai variétal multilocal a permis de tester durant plusieurs années et dans les différents pays, les meilleures obtentions récentes de chacun des participants. Ce dispositif a permis d'identifier des génotypes plus précoces que le témoin local vulgarisé, assurant une production au moins équivalente et/ou montrant une meilleure combinaison de caractères favorables (Tableau 1).

Pays	Bostwana	Brésil	Burkina Faso	Sénégal
Génotypes	S45 ICGS 31 GC8-35	GC 8-35 ICGS 55 ICGS 31	ICGS 26 ICGS 31 AHK 85-19	GC 8-35
Caractéristiques variétales*	-production : + -précocité : + -taille de graines : ++	-production : ++ -précocité : = -taille de graines : ++	-production : = -précocité : ++ -taille de graines : +	-production : +++ -précocité : ++ -taille de graines : ++

* évaluées par rapport au témoin de la zone : + / légèrement supérieur
++ / nettement supérieur
+++ / très nettement supérieur
= / équivalent

Tableau 1 . Caractéristiques des génotypes identifiés dans chacun des sites

Par ailleurs, au Sénégal, les deux programmes de rétrocroisement (BC) lancés dans le but de transférer les allèles de précocité du géniteur de précocité, Chico, à deux variétés de 90 jours ont été poursuivis jusqu'au 5^e et dernier BC pour 73-30 et jusqu'au 4^e BC pour 55-437. Une sélection généalogique de matériels très précoces a débuté à partir des F2 des premiers BC. Des lignées stabilisées de 80 jours issues de cette sélection ont montré en 1996 d'excellents rendements équivalents à ceux de la meilleure variété de 90 jours, Fleur 11, avec des qualités technologiques de graines supérieures.

■ Création de variétés physiologiquement adaptées à la sécheresse

□ Sélection récurrente

Cette sélection multicaractères est conduite au Sénégal et relayée par des sélections généalogiques conduites par les différents partenaires du projet. Deux cycles de sélection récurrente ont été réalisés à partir de la population initiale sur la base de l'amélioration des caractères agronomiques et des critères agro-physiologiques (système racinaire, transpiration et résistance protoplasmique)(tableau 2). Le troisième cycle de sélection, actuellement en fin de brassage, sera disponible en 1998 pour les partenaires afin de permettre une nouvelle série d'extraction de lignées par sélection généalogique.

Paramètres ^{(1)→} /Génotypes ¹	rac 13 13 ^e j (cm)	rac 27 27 ^e j (cm)	MSR (g)	vol rac (cm ³)	MSA (g)	crepfs (%)	cre2h (%)	PD (%)	Index ⁽²⁾
57-422 ⁽³⁾	36	80	1.89	15	1.06	0.76	0.69	19.8	188
Fleur 11 ⁽³⁾	39	74	2.10	15	1.19	0.75	0.64	59.3	189
104-15	40	63	2.77	20	1.37	0.77	0.73	16.2	259
108-10	26	69	2.80	20	0.81	0.85	0.76	3.4	247
118-1A	25	77	2.32		1.19	0.86	0.77	21.1	221
108-10	32	76	2.31	16	0.90	0.80	0.65	54.9	214
108-12A	40	73	2.18		1.17	0.79	0.70	24.2	209
116-9	37	89	1.98		0.88	0.87	0.77	13.8	203
108-12	31	79	1.99	16	0.79	0.76	0.67	51.9	185
104-5A	36	79	1.82	12	0.81	0.78	0.66	31.7	180
104-2A	35	70	1.32	12	0.81	0.81	0.73	22.4	118
104-1	34	61	1.26	10	1.05	0.74	0.63	24.7	112
114-7	21	38	0.96		0.64	0.86	0.73	9.0	57
103-16	29	53	0.75		0.39	0.79	0.70	50.7	32

⁽¹⁾ rac13 et rac27 : longueurs racinaire au 13^e et au 27^e j ; MSR et MSA : masses sèches des parties racinaires et aériennes au 35^e j ; vol rac : volume racinaire ; cre pfs et cre2h : contenu relatif en eau au point de fermeture des stomates et après 2 heures de déshydratation; PD : pourcentage de dégâts membranaires (résistance protoplasmique).

⁽²⁾ Index de sélection intégrant les différents paramètres agro-physiologiques mesurés : les lignées retenues présentent des index supérieurs à ceux des témoins sous réserve d'un bon comportement agronomique.

⁽³⁾ Témoins "agronomique" (Fleur 11) et "physiologique" (57-422) d'adaptation à la sécheresse.

Tableau 2 . Variabilité génétique sur différents paramètres agro-physiologiques pour 12 familles F3 issues de la sélection récurrente (P2) et deux témoins d'adaptation à la sécheresse

▫ Sélections généalogiques à partir de la première et de la deuxième populations

Des extractions de lignées par sélection généalogique ont été pratiquées dans les différentes localités à partir du premier cycle de la population. Dans tous les pays, cette sélection a permis de créer des lignées supérieures au témoin local :

-Au Burkina Faso : au moins 3 lignées (série 21-B) se montrent régulièrement supérieures en productivité et en qualité de graines depuis plusieurs saisons.

- Au Botswana : la lignée N°60 BS réalise des résultats significativement meilleurs que le témoin dans la plupart des sites où elle a été testée.

- Au Brésil : une dizaine de lignées se sont montrées supérieures ou équivalentes au témoin pour la production de gousses et la plupart d'entre elles possèdent de meilleures caractéristiques technologiques.

- Au Sénégal, de nombreuses lignées se sont montrées équivalentes au témoin 55-437 mais aucune ne l'a dépassé de façon significative.

Les sélections généalogiques à partir de la deuxième population (P2) en cours de sélection récurrente ont fait l'objet de choix de pieds pour la suite des programmes en 1997. Au Sénégal, près d'une centaine de lignées F4 issues de P2 dépassent le témoin, Fleur 11 (variété plus productive que 55-437, en cours de vulgarisation au Sénégal) de plus de 10% en rendement gousses. Le même type de sélection, actuellement en F5, au Burkina Faso, a également révélé en 1996, des lignées largement supérieures au témoin en production comme en qualité de graines.

□ Rétrocroisements sur 57-422

Cette opération, qui consiste à réduire la taille des graines de la variété 57-422 par rétrocroisements successifs sur 57-422 (parent récurrent) à partir d'un croisement initial avec la variété à petites graines, 55-437, a été réalisée jusqu'au 5^e et dernier rétrocroisement. Les familles rétrocroisées sont actuellement en cours de stabilisation. Les lignées extraites des deux premiers rétrocroisements par sélection généalogique sont évaluées pour la première fois en essais statistiques en 1997.

■ Recherches sur la physiologie de l'adaptation à la sécheresse

Ces études ont été conduites au Sénégal et au Portugal. Les principales caractéristiques d'adaptation physiologique de l'arachide à la sécheresse ont été précisées afin de mettre au point les tests de sélection correspondants et d'aider aux choix de génotypes lors des phases de criblages sur test physiologique.

□ Dynamique et morphologie de l'enracinement

Une variabilité de ces caractères a été confirmée chez l'arachide. Elle s'exprime dès les premiers jours du développement racinaire. Elle est génotypique et peut être aussi induite par le stress hydrique. Par ailleurs, elle se conserve si le stress hydrique disparaît. Ainsi, on observe qu'une sécheresse en début de cycle est favorable à la production de gousses quelle que soit la variété. La redistribution des racines observée en condition de sécheresse, s'accompagne de la formation de racines plus longues et plus fines en profondeur et de racines courtes de gros diamètre en surface. Cette redistribution des racines n'entraîne pas d'augmentation de la quantité d'assimilats à l'intérieur de cet organe. La réaction s'accompagne, en revanche, d'un coût énergétique important pour le développement des autres organes. Elle favorise par conséquent les variétés à gros système racinaire qui peuvent coloniser un volume de sol plus important.

Ces observations montrent qu'il est nécessaire de pratiquer la sélection en condition de stress et en condition d'alimentation hydrique optimale de manière à distinguer les caractères induits par le stress hydrique des caractères propres au génotype.

□ Régulation des pertes en eau

Lorsque le déficit hydrique atteint un certain seuil au niveau de la plante, les stomates se ferment et une élévation de température s'opère dans les tissus foliaires du fait de la réduction de la transpiration consommatrice d'énergie. La bonne capacité de l'arachide à maintenir ces échanges gazeux à des niveaux de déshydratation élevés a été confirmée. Au niveau du cycle de la plante, c'est à la mi-floraison que l'avantage d'un contrôle stomatique efficace sera maximum.

Sur un plan variétal, 57-422 et 73-30, montrent les différences de comportement les plus marquées. Le fait que 73-30 ferme ses stomates lorsque son niveau de CRE est plus élevé que celui des autres variétés

avec une transpiration totale inférieure à celle des autres variétés peut être interprété comme une stratégie de réduction des pertes hydriques par diminution de la transpiration. En revanche, chez 57-422 et Fleur 11, la fermeture des stomates a lieu lorsque la déshydratation des tissus est plus poussée et la réaction de GC 8-35 est intermédiaire.

Il est probable que le type de contrôle stomatique, que l'on peut qualifier de "lent", de 57-422 et Fleur 11 leur confère une régulation hydrique plus "efficace" en termes de productivité car on a montré que le classement de ces 4 variétés sur l'efficacité de l'utilisation de l'eau était similaire à celui qui est réalisé sur la régulation stomatique.

▫ Capacité photosynthétique

L'identification de variétés capables de maintenir une activité photosynthétique à des potentiels hydriques très faibles doit tenir compte de la capacité de l'appareil foliaire à réguler ses pertes en eau par le contrôle stomatique. Autrement dit, la conductance stomatique et la photosynthèse sont liées et l'on doit tenter de sélectionner pour le meilleur rapport possible entre ces deux processus en condition de déficit hydrique.

L'effet d'un stress hydrique sur certains paramètres photosynthétiques a été étudié au Portugal. Les études conduites montrent que l'on peut classer les variétés en trois groupes de capacité photosynthétique maximale. Le meilleur potentiel photosynthétique est réalisé par les cultivars 73-33 et GC 8-35 et le moins bon par les cultivars 55-437 et 73-30. Fleur 11 et 57-422 se situent en position intermédiaire. Des études plus fines par fluorimétrie ont montré qu'en fait, l'appareil photosynthétique de GC 8-35, comme celui de 73-30, était très affecté par le déficit hydrique et confirmé que l'activité photosynthétique de 57-422 était la moins sensible au déficit hydrique.

Ces résultats sur la tolérance de l'appareil photosynthétique et le comportement stomatique sont en bonne relation avec le niveau de productivité au Sénégal de ces 4 variétés bien adaptées à la sécheresse. En effet, Fleur 11 et 57-422 sont les plus productives (Fleur 11 est également productive en conditions de sécheresse), 73-30 est la moins productive et GC 8-35 est intermédiaire.

▫ La tolérance des membranes protoplasmiques à la dessiccation

Le maintien de l'intégrité membranaire constitue, chez l'arachide, le mécanisme de tolérance le plus efficace. Les travaux ont montré une augmentation générale de ce niveau de résistance avec l'âge de la plante, ce qui représente un avantage adaptatif important de l'arachide qui termine en général son cycle en condition de sécheresse. Des différences variétales existent au niveau de ce mécanisme. Le test physiologique correspondant à la sélection de ce critère a été amélioré et l'on est en mesure à présent de mieux préciser les conditions du stress apporté et le stade optimal de la plante pour une bonne expression des différences variétales. Cependant, le test ayant lieu sur disques foliaires par application d'osmoticum (PEG), on se situe relativement loin des conditions réelles d'intervention d'un déficit hydrique ce qui oblige à une certaine prudence dans l'interprétation des différences constatées. Dans les conditions du test, la meilleure résistance a été observée pour le cultivar 57-422 et la moins bonne pour Fleur 11 et 73-30. La variété GC 8-35 se situant en position intermédiaire.

Des études ont été conduites au Portugal, sur les mécanismes biochimiques qui sous-tendent les observations précédemment réalisées sur les différences de sensibilité membranaires entre les cultivars sénégalais. La composition des membranes en acyl-lipides et en caroténoïdes après application de 3 niveaux de déficit hydriques a été étudiée.

La quantité totale d'acyl-lipides des thylacoïdes décroît généralement quand le stress augmente pour toutes les variétés. Cependant on observe une remontée des valeurs très significative sur Fleur 11 en

condition de stress moyen (MDS) et une remontée assez marquée chez GC 8-35 en condition de stress sévère (SDS). La remontée sur Fleur 11 est principalement due à une très importante augmentation du MGDG. Ces quantités d'acyl-lipides décroissent, en revanche, graduellement pour 57-422. Les différences intervariétales observées sur la quantité totale s'observent également sur toutes les classes d'acyl-lipides individuelles. La bonne résistance protoplasmique sous PEG observée lors des tests de criblage sur 57-422 est peut-être en liaison avec cette lente dégradation. Car, on observe par ailleurs que Fleur 11 - caractérisée par des dégâts membranaires importants - présente le taux le plus bas d'acyl-lipides en SDS. La sensibilité membranaire apparente de Fleur 11 serait donc plus due aux conditions d'application du stress à la PEG qu'à une sensibilité "réelle" car en conditions de déficit modéré, son taux d'acyl-lipide est augmenté et atteint le niveau de celui de 57-422.

De la même manière que pour les acyl-lipides, on observe une baisse des quantités moyennes des caroténoïdes quand le déficit augmente chez tous les génotypes. Mais, contrairement aux acyl-lipides, les classes de caroténoïdes varient différemment selon les génotypes en fonction du type de déficit, ce qui limite l'intérêt de cette mesure globale en sélection.

Les résultats les plus intéressants nous paraissent être l'observation des variations des taux des acyl-lipides car la non dégradation de ces composés a déjà été mise en évidence chez d'autres végétaux (en particulier le MGDG pour le niébé) en relation avec la résistance membranaire.

Les résultats agro-physiologiques obtenus au Sénégal et au Portugal nous autorisent à émettre des hypothèses sur les bases physiologiques du bon comportement de la variété Fleur 11 en condition de déficit hydrique, à savoir :

- floraisons précoces et groupées,
- système racinaire performant,
- bonne efficacité de l'utilisation de l'eau,
- régulation stomatique permettant le maintien de la photosynthèse en condition de déficit hydrique,
- tolérance membranaire en condition de stress moyen (?)

Ces hypothèses doivent être validées par de nouvelles expérimentations, il faudrait notamment savoir si l'appareil photosynthétique de Fleur 11 est tolérant au déficit hydrique.

Considérant ces acquis récents au niveau de la physiologie de l'adaptation à la sécheresse, nous en concluons que la méthodologie de sélection sur test physiologiques pourra être améliorée au moins sur deux aspects:

- la sélection sur la résistance de l'appareil photosynthétique par utilisation de la fluorimétrie
- et l'amélioration du test de la résistance membranaire grâce à des dosages biochimiques des lipides membranaires.

■ Contribution à l'amélioration des systèmes de culture

Lors des essais multilocus conduits dans le centre-nord du Sénégal, l'intérêt de la variété Fleur 11 par rapport à GC 8-35 et 55-437 pour le rendement en gousses, a été confirmé quelles que soient les conditions pluviométriques. La nouvelle variété de 80 jours, 55-114 est en général inférieure à Fleur 11 sur les rendements en gousses et en fanes mais elle possède de meilleures caractéristiques technologiques quelles que soient les conditions pluviométriques. Fleur 11 montre donc qu'elle est

capable de maintenir une production honorable en condition de fort déficit hydrique ou d'extérioriser une très bonne production de gousses quand les conditions pluviométriques sont bonnes. Cette exceptionnelle plasticité d'adaptation est incontestablement son point fort mais la qualité de la récolte est faible ce qui constitue un facteur de risque important pour la contamination par l'aflatoxine.

Les essais de densité x fumure conduits sur GC 8-35 indiquent que, même en condition de fort déficit hydrique, la variété GC 8-35 peut être cultivée à 250 000 pieds/ha (40cm X 10cm). Sa production de fanes notamment, qui constitue le principal défaut de cette variété, s'en trouve significativement améliorée.

Au **Botswana**, le suivi de parcelles paysannes emblavées avec les nouvelles variétés vulgarisables, a révélé que dans l'ensemble les paysans, en appliquant partiellement les recommandations techniques de la recherche pouvaient doubler leur production par rapport à la moyenne nationale qui est de l'ordre de 250-300 kg/ha. Sur le plan variétal, la variété Fleur 11 a montré le meilleur rendement dans deux régions sur trois mais le moins bon dans la région centrale.

Au **Brésil**, on a observé une bonne réponse à l'engrais complet et à l'accroissement de densité sur la variété témoin PI 165317 : le plus haut niveau de fertilisation testé (30-160-60) associé à la plus haute densité (222 000 pieds/ha) a permis une augmentation de rendement voisine de 80% par rapport aux niveaux les plus faibles. Des essais comparant différents arrangements spatiaux du semis a permis de conclure qu'un espacement entre les lignes de 40 cm est largement préférable à un espacement de 80 cm pour la production de matière sèche et pour la production de gousses (augmentation de rendement de l'ordre de 50 %) et ceci sans conséquence négative sur la qualité de la récolte.

■ Effet de la sécheresse sur la contamination par *A. flavus* et sur la composition en acides gras des graines

L'étude de certains indicateurs de résistance à l'aflatoxine en pré-récolte sur des variétés d'arachides présentant différents niveaux de résistance à la sécheresse a été initiée au Sénégal en 1995. Une gamme variétale a été testée en deux sites et sur deux dates de semis.

Les indicateurs du niveau de résistance à la toxine étudiés sont l'index de sensibilité à la sécheresse calculé en pourcentage du potentiel variétal du site, le pourcentage de gousses mûres à la récolte, le niveau de contamination naturelle par *A. flavus* dans deux sites, le rapport en acide gras oléique sur acides gras linoléique (ratio O/L).

L'examen des corrélations significatives calculées entre ces indicateurs montre que :

- l'index de sensibilité à la sécheresse est en liaison négative significative (-0,83) avec les rendements obtenus en conditions de sécheresse de fin de cycle à Bambey.
- Les niveaux d'infestation naturelle par *A. flavus* relevés à Bambey et à Nioro sont significativement corrélés (0,63).
- La corrélation négative (-0,58) relevée entre le pourcentage d'évolution du ratio O/L lorsque le déficit hydrique s'accroît, et l'infestation naturelle par *A. flavus* indique que ce facteur rentre dans l'explication de la tolérance à *A. flavus*.

En moyenne des variétés, le ratio O/L est en légère augmentation en deuxième date de semis dans les deux sites. Mais la relative stabilité de ce ratio traduit des situations assez différenciées selon les génotypes.

Ces premiers résultats montrent que l'étude du facteur lié à l'évolution du ratio O/L pourrait être une voie intéressante pour la recherche de variétés résistantes à l'aflatoxine.

L'analyse du comportement des différentes variétés sur la base de l'infestation naturelle (2 sites, 1 année de test) et de l'évolution du ratio O/L (1 site sur 2 années de test) montre que SR1-22, SR1-4, 55-114, 55-116 et 55-437 (témoin de résistance) sont les plus résistantes mais que la variété Fleur 11 paraît sensible. Les quatre premières variétés sont issues du programme de sélection pour l'adaptation à la sécheresse. Les mécanismes impliqués dans les processus d'adaptation à la sécheresse et de résistance à l'aflatoxine étant complexes, il sera nécessaire d'approfondir et compléter les résultats obtenus par des tests en contamination artificielle par *A. flavus* et des dosages d'aflatoxine.

Si les résultats se confirment dans ces conditions, il y aura un intérêt certain à exploiter les connaissances sur les mécanismes d'adaptation des variétés à la sécheresse pour les recherches sur les mécanismes de résistance à l'aflatoxine.

Bibliographie

■ Articles

Annerose D.J.M. 1991. Caractérisation de la sécheresse agronomique en zone semi-aride. II- Evaluation des formes de sécheresse agronomiques de l'arachide au Sénégal par simulation du bilan hydrique de la culture. *Oléagineux* 46 (2) : 61-65.

Annerose D.J.M. et Diagne M. 1990. Caractérisation de la sécheresse agronomique en zone semi-aride. I- Présentation d'un modèle simple d'évaluation appliqué au cas de l'arachide cultivée. *Oléagineux* 45 (12) : 547-554.

Annerose D.J.M. 1988. Critères physiologiques pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. *Oléagineux* 43 (5) : 217-222.

Clavel D. 1996. Un pari nécessaire : la création de variétés résistantes à l'aflatoxine. *Arachide Infos* N° 6, décembre 1995, pp 25-26 . CORAF, Montpellier, France.

Clavel D. 1996 . Present status of research on the groundnut aflatoxin problem in Senegal. *Arachide Infos* N° 6, décembre 1995, pp 5-6 . CORAF, Montpellier, France.

Clavel D., Annerose D. 1995. Amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. *In* Projets de recherche 1987-1991, Vol 2. Résumés des rapports finals. pp 26-32. CTA/STD2-DGXII, Bruxelles, Belgique

Ferreira L.G.R., Dos Santos I.F., Tavora F.J.F e Veira da Silva J. 1992. Deficit hídrico em cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Repostas fisiológica e produção. *Oléagineux*. 47 (8-9) : 523-530.

Khalfaoui J.L. 1991. Determination of potential lengths of the crop growing period in semi-arid regions of Senegal. *Agricultural and Forest Meteorology*, 55 : 251-263.

Khalfaoui J.L. 1991. Approche de l'amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse . Cas de l'arachide au Sénégal. Amélioration des Plantes pour les milieux arides. Ed. Aupelf-Uref. Eurotest Paris, 51-63.

Khalfaoui J.L. 1990. Genetic of adaptation to drought of cultivated species and consequences on plant breeding. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 137, Actual. Bot., 1 : 125-137.

Khalfaoui J.L. 1990. Etude des composantes de la précocité chez l'arachide. *Oléagineux* 45 (2) : 81-93

Khalfaoui J.L. 1990. Hérité de la précocité extrême dans le cas d'un croisement entre deux variétés d'arachide Spanish. *Oléagineux* 45 (10) : 419-431.

Lauriano J.A., Campos P.S., Ramalho J.C., Lidon F.C., Guedes M. E., M. do Ceu Matos. 1997. Partial decline of *Arachis hypogaea* L. Photosynthesis triggered by drought stress. *Photosynthetica* 33 (1) : 81-90.

■ Communications

Clavel D. 1996. L'adaptation génétique de l'arachide face à la sécheresse : critères et méthodes de sélection. Communication présentée à l'atelier arachide CORAF-CERAAS tenu à Bambey, Sénégal, du 17-20 décembre 1996. 9 p.

Clavel D. 1996. Etude des relations entre certains indicateurs de résistance à l'aflatoxine en pré-récolte sur des variétés d'arachide présentant différents niveaux de résistance à la sécheresse. Communication présentée au cinquième atelier sur l'arachide en Afrique de l'Ouest et du Centre tenu à Accra, Ghana, du 18 au 21 novembre 1996. 8 p.

Clavel D., Annerose D. 1995. Breeding groundnut for drought adaptation in Senegal. Poster présenté à la réunion Eucarpia "plantes tropicales", Montpellier 11-15 mars 1995. ISRA/ Sénégal et CIRAD-CA, France.

Gautreau J., Zagre B. 1992. Bilan de trois années d'expérimentation variétale sur l'arachide dans la zone centre du Burkina Faso. Communication présentée au 3^e atelier régional ICRISAT de l'arachide. Ouagadougou, Burkina Faso, septembre 1992.

Khalfaoui J.L. 1990. Génétique et sélection de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées. 1^{ier} atelier de physiologie, génétique et sélection pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées. Bambey, 5-9 novembre 1990. ISRA/CERAAS bambey, Sénégal. 25 p.

Laureano J.A., Do ceu Matos M.C., Campos P.S. 1993. Efeito de stress hidrico em alguns parametros fotossintéticos de *Arachis hypogaeae*. Livro de resumos. III^e congresso Hispanico-portugues de fisiologia vegetal. Pamplona, 20 -24 de Setembro 1993.

Laureano J.A., Matos M.C e Campos P.S. 1993. Mecanismos fisiologicos de resistencia a seca. Estudo de variedades de amendoim. 1^{ier} Simposium hispano-portugues de relacoes hidricas nas plantas. Universidade das Ilhas Baleares. Coselho Superior de Investigações Cientificas, pp 197-202. Palma de maiorca, 21-13 de Abril 1993.

Laureano J.A., Lidon F.C e Matos P.S. 1993. Alterações provocadas pelo stress hidrico na actividade do aparelho fotossintético de *Arachis hypogaea*. 9^e Congresso Nacional de Bioquimica Sociedade Portuguesa de Bioquimica. 5-8 de Dezembro de 1993. pp 73.

Maphanyane G.S. 1994. Selecting groundnuts for adaptation to drought under rainfed conditions in Botswana. Pages 32-36. In : sustainable groundnut production in Southern and Eastern Africa : Proceedings of a workshop, 5-7 jul 1994, Mbane, Swaziland (Ndunguru B. J. Hildebrand G.L and Subramanyan P. E). ICRISAT. Patancheru, Andra Pradesh, India.

Mayeux A. et Khalfaoui J.L. 1989. Groundnut selection with respect to climatic constraints in Botswana. Symposium SADCC, ICRISAT. Malawi. 5p.

Zagre B., Traore S., Gautreau J. 1990. Activités et résultats de la recherche sur la sélection de l'arachide dans les zones centre et nord du Burkina Faso. Communication présentée au 2^e atelier régional ICRISAT de l'arachide. Niamey, Niger.

■ Rapports

Clavel D., 1997. Amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. Troisième rapport scientifique du contrat N° TS3-CT93-0216. 10 p + annexes. ISRA/ Sénégal et CIRAD-CA, France.

Clavel D., 1997. Amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide au Sénégal. Troisième rapport scientifique du contrat N° TS3-CT93-0216. 60p + annexes. ISRA/ Sénégal.

Clavel D., 1996. Amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. Deuxième rapport scientifique du contrat N° TS3-CT93-0216. 7 p + annexes. ISRA/ Sénégal et CIRAD-CA, France.

Clavel D., 1995. Amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide au Sénégal.

Deuxième rapport scientifique du contrat N° TS3-CT93-0216. 32p + annexes. ISRA/ Sénégal.
Clavel D., 1995. Amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. Premier rapport scientifique du contrat N° TS3-CT93-0216. 6 p + annexes. ISRA/ Sénégal et CIRAD-CA, France.
Clavel D., 1995. Amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide au Sénégal. Premier rapport scientifique du contrat N° TS3-CT93-0216. 24 p.
Clavel D., Annerose D. 1994. Amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. Rapport final du contrat N° TS2A-0104- M (CD). 10 p + annexes.

Etude des paramètres morpho-physiologiques en rhizotrons de huit variétés d'arachide en vue d'une amélioration des tests de sélection pour l'adaptation à la sécheresse.

D. Clavel / CIRAD, ISRA Centre Nord Bassin Arachidier, BP 53, Bambey, Sénégal
M. Diouf / CERAAS, BP 3320, Thiès Escale, Thiès, Sénégal

Introduction

Les conditions pluviométriques se sont gravement dégradées depuis une quinzaine d'années dans les régions sahéliennes et sub-sahéliennes. Au Sénégal, les régions les plus touchées par la sécheresse occupent la majeure partie de la zone de production de l'arachide, le Bassin Arachidier.

Par conséquent, l'obtention de variétés à cycle court, égal ou inférieur à 90 jours, et qui possèdent des caractères physiologiques leur permettant de supporter d'importantes périodes de sécheresse au cours du cycle est le principal objectif de sélection de l'arachide pour les régions centre et nord du Bassin Arachidier sénégalais. Cette recherche nécessairement pluridisciplinaire suppose de disposer d'une méthode rapide et fiable pour sélectionner les génotypes sur critères physiologiques (Clavel, 1996, Cedola, 1994, Annerose, 1990, Khalfaoui, 1990)

Nous nous proposons dans cette étude de tester des lignées connues sur le plan agronomique dans un dispositif d'évaluation agro-physiologique en rhizotrons. L'objectif de cette étude est d'une part, d'améliorer la connaissance de la physiologie de ce matériel et d'autre part, de perfectionner la méthodologie de criblage variétal précoce sur tests physiologiques en rhizotrons.

Matériel et méthodes

Le matériel végétal est constitué par 8 entrées : 4 variétés issues du programme de sélection (80 jours) : 55-114, 55-138, SR1-4 et GC 8-35, 2 variétés vulgarisées, adaptées à la sécheresse (90 jours) : 55-437, Fleur 11 et 2 témoins d'adaptation à la sécheresse connus sur le plan physiologique : 57-422 (105j) et 73-30 (95j).

Le dispositif est un plan factoriel à 2 facteurs étudiés (génotype et régime hydrique) et à 4 répétitions. Les unités expérimentales sont constituées par 64 rhizotrons disposés en 4 blocs randomisés.

L'expérimentation a été conduite pendant 6 semaines + 1 semaine de pré-irrigation, en contre-saison chaude et conditions d'alimentation hydrique contrôlées. Les graines ont été mises en prégermination 24 heures avant le semis. Le semis a été réalisé le 12 mai 1997.

Une moitié des génotypes a été bien alimentée en eau durant toute la durée de l'expérimentation grâce à un arrosage qui a tenu compte des besoins en eau de l'arachide : 4,5 litres d'eau ont été apportés ce qui simule 265 mm de pluie répartis sur les 42 premiers jours de croissance de l'arachide. L'autre moitié des plantes a été soumise à un déficit hydrique par suspension d'arrosage 14 jours après semis. Les plants stressés de l'essai ont reçu 1,8 litre d'eau soit l'équivalent de 106 mm.

Deux grands types de mesures ont été réalisées : mesures de morphologie des systèmes aériens et racinaires complétées par des matières sèches et mesures physiologiques sur la deuxième paire de folioles de la 3^e feuille du rameau principal en partant du sommet.

• *Système racinaire*

Longueur du système racinaire (SR) mesurée au 14^e jour (RAC1)
" " au 24^e jour (RAC2)
" " au 35^e jour (RAC3).

A la fin de l'expérimentation (au 42^e jour), chaque plante a été dépotée, les racines ont été lavées et les masses sèches des racines (MSR) ont été déterminées.

• *Système aérien*

A la fin de l'expérimentation, la surface de l'appareil aérien a été évaluée au moyen de la masse surfacique (MSFE) et de la masse sèche des parties aériennes (MSA). La surface foliaire de la 3^e feuille (en partant du sommet) du rameau principal de chaque plante a été mesurée au planimètre puis cette feuille est pesée après séchage pendant 48h à l'étuve à 85°C.

$MSFE = \text{masse sèche} / \text{surface foliaire (g/cm}^2\text{)}$.

Les parties aériennes des plantes ont été prélevées au 42^e jour et les masses sèches individuelles ont été déterminées (MSA).

L'estimation de la surface foliaire (SA) est donnée par la formule : $SA = (1 / MSFE) \times MSA \text{ (cm}^2\text{)}$

• *Mesures physiologiques*

Ces mesures ont été réalisées à partir de la deuxième semaine de stress entre 12h et 14h sur la 3^e feuille. Le potentiel hydrique foliaire (Ψ_{fol}) a été mesuré à la chambre à pression. La transpiration (Tr) et la conductance stomatique (G_s) ont été évaluées à l'aide d'un poromètre (Licor 1600). Le contenu relatif en eau (CRE) a été déterminé par gravimétrie et calculé selon la formule : $CRE = ((\text{poids frais} - \text{poids sec}) / (\text{poids turgescent} - \text{poids sec})) \times 100$.

Le Ψ_{fol} et le CRE ont été mesurés une fois par semaine pendant 4 semaines (22^e, 29^e, 36^e et 42^e jour), tandis que Tr et G_s n'ont été obtenus qu'à partir du 29^e JAS (29^e, 36^e et 42^e jour). Ce décalage est dû à la taille des plantes, encore trop petites au 22^e JAS pour permettre des mesures au poromètre Licor.

Résultats et discussion

Les analyses statistiques ont été réalisées grâce au logiciel SAS / STAT® version 6.22. Les analyses de variances ont porté sur chacun des paramètres mesurés pendant les 4 semaines de déficit hydrique. Une seule mesure a été réalisée avant le début du stress hydrique : RAC1 (longueur racinaire à 14 JAS).

Les paramètres mesurés sont les suivants :

RAC1, RAC2, RAC3 (cm) : longueurs racinaires à 14 jours après semis (JAS), 24 JAS et 35 JAS

CRE1, CRE2, CRE3 et CRE4 (%) : contenus relatifs en eau après 1, 2, 3 et 4 semaines de suspension d'arrosage.

Ψ_{fol1} , Ψ_{fol2} , Ψ_{fol3} et Ψ_{fol4} (-bar) : potentiels hydriques foliaires après 1, 2, 3 et 4 semaines de suspension d'arrosage.

Tr2, Tr3, Tr4 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{s}$) : transpirations après 2, 3 et 4 semaines de suspension d'arrosage.

Gs2, Gs3, Gs4 (cm/s) : conductances stomatiques après 2, 3 et 4 semaines de suspension d'arrosage.

SA (cm^2) : surface foliaire après 4 semaines de suspension d'arrosage.

MSA (g) : masse sèche de la partie aérienne après 4 semaines de suspension d'arrosage

MSR (g) : masse sèche de la partie racinaire après 4 semaines de suspension d'arrosage

MSR/MSA : ratio des masses sèches racinaires sur les masses sèches des parties aériennes

Contenu relatif en eau

Le CRE au cours de l'évolution du déficit hydrique s'est révélé très sensible. Dès la première semaine de suspension d'arrosage, une différence significative de 4% entre les plantes irriguées (irr) et les stressées (str) a été notée. Globalement, cette différence s'accroît très sensiblement au cours du temps (Figure 1). On relève une faible interaction au niveau de CRE2 due à la variété 73-30 dont le CRE diminue moins que celui des autres variétés en début de stress (2^e semaine). Cette observation confirme les résultats obtenus antérieurement sur la régulation stomatique de cette variété. Celle-ci montre une fermeture précoce de ses stomates dès que le CRE commence à chuter, ce qui pénalise du même coup sa photosynthèse (Annerose, 1990; Khalfauoui, 1988). Les différences entre génotypes ne sont pas significatives sauf en fin de stress où la variété 57-422 montre un CRE4 sensiblement plus bas que ceux des autres variétés avec 70% alors que le meilleur CRE est réalisé par la variété Fleur 11 avec 81% (Figure 2). Si, comme l'a proposé Levitt (1985) dans le cas de tissus en pleine turgescence, la capacité d'évitement peut être directement évaluée par le CRE, ce serait donc cette capacité d'évitement réduite qui distinguerait la variété 57-422, seule Virginia du groupe et dont plus tardive que les autres variétés.

Conductance stomatique et transpiration

Les mesures de transpiration (Tr2 à Tr4) et de conductance stomatique (Gs2 à Gs4) sont très peu précises du fait d'un manque de répétabilité d'une mesure à l'autre. Les coefficients de variation sont supérieurs à 50%, par conséquent l'analyse n'est pas interprétable. Les conditions de stress hydriques pouvant considérablement perturber la conductance stomatique, nous avons effectué une analyse de variance en ne tenant compte que des plantes bien irriguées. Celle-ci n'a que très peu amélioré la précision des résultats de l'essai. C'est donc un problème de méthodologie ou de sensibilité de l'appareillage utilisé qui peut expliquer l'importance de l'erreur résiduelle.

La conductance stomatique est principalement influencée par l'état hydrique foliaire et probablement aussi par des messages hormonaux d'origine racinaire (ABA, en particulier), on doit donc s'attendre à une certaine corrélation entre Ψ_{fol} et Gs ou Tr.

Le tableau des corrélations (Tableau 1) indique clairement que la relation entre les potentiels hydriques et la conductance stomatique est effectivement bonne en fin d'expérience (avec Gs4, plantes de 42 jours)

puisque'elle est voisine ou supérieure à 0,5. En revanche, elle est très moyenne en milieu de stress (avec Gs3, plantes de 36 jours) et devient quasi nulle en début de stress (avec Gs2, plantes de 29 jours). Ces observations indiquent que la méthodologie de mesure (stade phénologique des plantes, nombre de répétitions) est à revoir plus que la sensibilité de l'appareil en période de forte contrainte hydrique. L'excellente corrélation (voisine de 1) observée entre Gs et Tr (Tableau 1) témoignant par ailleurs, de la stabilité des conditions climatiques de mesure.

D'autre part, le tableau 1 montre que les mesures de Gs et de Tr sont bien corrélées avec MSR en début de stress alors qu'elles ne le sont pas avec MSA. Ce résultat tendrait à montrer qu'il existe bien un intérêt à sélectionner des plantes à forte conductance stomatique puisque celle-ci est reliée à un système racinaire important lequel représente un avantage certain pour l'adaptation à la sécheresse.

Néanmoins, s'agissant de la pertinence de ce critère pour un criblage variétal, il apparaît que dans les conditions de mesure pratiquées dans cette étude, la mesure de Gs et de Tr n'est pas utilisable car elle est soumise à une trop grande variabilité d'une mesure à l'autre, particulièrement sur les plantes jeunes.

Potentiel hydrique foliaire

Au cours de la première semaine de stress, on n'observe pas de différences significatives d'états hydriques foliaires ni entre les régimes hydriques ni entre les génotypes. A partir de la deuxième semaine de mesure, on distingue significativement les irriguées (IRR) des stressées (STR). La variété 57-422 montre un potentiel hydrique nettement plus bas que celui des autres variétés surtout en irrigué. Au cours de la 4^e semaine, on relève une interaction intéressante qui permet de grouper les variétés (Figure 3) :

- Fleur 11 et SR1-4 présentent des potentiels bas et un comportement très contrasté dans les deux régimes hydriques,
- les autres variétés (55-437, 73-30, 57-422 et GC8-35), montrent des potentiels hydriques relativement peu variables en fonction de l'alimentation hydrique,
- la variété 55-138 se trouve en position intermédiaire.

Cependant des raisons différentes expliquent le classement des variétés 55-437, 73-30, 57-422 et GC8-35 dans le même groupe : 57-422 a un potentiel très bas en irrigué comme en stressé, GC8-35 a un potentiel moyen dans les deux cas et 55-437 et 73-30 maintiennent un potentiel relativement élevé en conditions de stress. En ce qui concerne 55-138, son comportement s'apparente à celui de GC8-35 avec toutefois des valeurs plus différenciées en fonction du régime hydrique (figure 3).

Longueurs racinaires

Les longueurs racinaires mesurées sur les différents génotypes ne sont pas différentes avant l'application du stress. La réduction des longueurs racinaires observée en fin de stress (RAC3) n'est pas significative alors qu'une diminution significative apparaît en milieu de stress (RAC2).

Cette tendance à la réduction de la longueur des racines va à l'encontre de ce qui est assez souvent observé sur arachide au champ lors d'un stress précoce. Un manque d'eau dans les horizons supérieurs a pour conséquence une elongation des racines et un accroissement du volume colonisé par ces racines qui leur permet de rechercher de l'eau en profondeur (Annerose, 1990). Une irrigation initiale très abondante suivie par une période sèche favorisent le développement du système racinaire, et par suite la productivité y compris en cas de sécheresse de fin de cycle (Nageswara, 1985). Cependant, les choses peuvent se passer différemment si le début de la saison des pluies est trop incertain (pluie de semis peu importante) et l'eau non disponible en profondeur. C'est cette dernière situation que nous avons simulée en rhizotrons et, pour cette raison, l'intégralité de la colonne de terre n'était pas imbibée d'eau. Afin de limiter l'expérimentation dans le temps, nous voulions provoquer un déficit hydrique précoce, nous avons donc volontairement limité l'apport d'eau initial et l'arrosage durant les 21 premiers jours de façon

à satisfaire assez précisément les besoins en eau de la plante. Un excès d'eau nous aurait obligé à prolonger l'expérimentation au delà de 6 semaines alors que étions à la recherche d'une méthodologie de criblage précoce et rapide.

Le tableau 1 montre que les longueurs racinaires paraissent totalement indépendantes de celles de MSR. En revanche la longueur des racines en fin de stress (RAC2 et surtout RAC3) est bien corrélée avec les potentiels hydriques surtout avec ceux relevés en début de stress (0,77 entre RAC3 et Ψ_{fol1}).

La réduction de la croissance en longueur des racines après 10 à 20 jours de stress évoluerait donc en liaison avec celle du potentiel hydrique des feuilles. Or, nous avons observé précédemment une corrélation entre la conductance stomatique et les racines (Gs2 et MSR) en début de stress mais qui chute et change de sens lorsque le stress s'accroît.

L'état hydrique des feuilles est donc bien régulé par un système complexe d'origine racinaire qui n'est pas en relation simple avec l'eau disponible dans le sol au niveau des racines.

Masses sèches racinaires (MSR)

Contrairement aux longueurs racinaires, des différences significatives sont observées entre les génotypes et les régimes hydriques. L'interaction est également significative mais faiblement ce qui permet de réaliser un classement variétal sur les génotypes en nuancant toutefois le comportement de certains d'entre eux en fonction du régime hydrique (Figure 6).

- Groupe 1 : variétés Fleur 11, 57-422 et 73-30, à MSR élevées. Fleur 11 présente le MSR le plus important dans les deux conditions hydriques, 57-422 se classe en deuxième position dans les deux cas et 73-30 présente un MSR assez bon et relativement peu affecté par le déficit hydrique.

- Groupe 2 : variétés 55-138, GC8-35, 55-437, 55-114 et SR1-4, à MSR faibles.

Les interactions mises en évidence favorisent 55-138, GC8-35 et 55-437 qui présentent des MSR peu affectées par la sécheresse par rapport à 55-114 et SR1-4 qui accusent une diminution importante.

Surfaces foliaires (SA) et masses sèches des parties aériennes (MSA)

Une réduction significative de SA est observée sur tous les génotypes en condition de stress (Figure 4).

Une interaction très significative apparaît : elle permet de classer les variétés en 3 groupes :

- Groupe 1 : **GC8-35**, 55-437 et 73-30 : faible effet du régime hydrique sur SA,
- Groupe 2 : SR1-4, 55-138 et 55-114 : effet important du régime hydrique sur SA,
- Groupe 3 : **57-422** et Fleur 11 : effet très important du régime hydrique sur SA.

Les résultats sur MSA sont quasiment identiques à ceux obtenus sur SA (Figure 5). La seule différence concerne 73-30 qui semble relativement peu touchée par le déficit au niveau de SA alors que son MSA diminue plus nettement. La MSFE est très peu variable en fonction des variétés et des conditions hydriques. La forte corrélation (0,94) calculée entre SA et MSA (Tableau 1) confirme cette observation.

Ratio MSR/MSA

Ce ratio de masses sèches varie en fonction des génotypes (0,71- 1,23) et augmente significativement en condition de stress. L'interaction n'est pas significative. La seule variété statistiquement différente des autres est SR1-4 dont la MSR est faible et très affectée par la sécheresse. Cependant on note que Fleur 11 présente un ratio élevé et stable. On observe que MSR/MSA est mieux corrélé à MSR qu'à MSA (Tableau 1), la faiblesse du ratio de SR1-4 comme la valeur élevée de celui de Fleur 11 s'expliquent donc surtout par leur comportement racinaire : SR1-4 présente un appareil racinaire peu performant alors

que Fleur 11 possède un bon système racinaire en toutes conditions, (Figure 7).

La variation en fonction du régime hydrique est significative quoique faible. L'augmentation du ratio en condition de stress était attendue, elle signifie que même si l'on a observé une diminution de MSR en condition de stress dans notre expérience, la diminution de MSA (et de SA) est proportionnellement plus importante. La stratégie de limitation de la surface foliaire pour diminuer les surfaces transpirantes au profit des racines a donc bien été mise en évidence malgré la brièveté de l'essai.

Analyse multivariée

Les paramètres ayant présenté des interactions ou montré des différences significatives entre les variétés dans l'analyse de la variance univariée sont *a priori* ceux qui permettent l'expression de la plus grande variabilité donc ceux qui permettront la sélection. SA étant très lié à MSA et l'interaction sur CRE2 n'étant due qu'à une seule variété, nous avons choisi les paramètres Ψ_{fol4} , CRE4, MSR et MSA afin de réaliser une analyse multivariée. Les 31 observations décrites par ces quatre variables ont donc fait l'objet d'une analyse en composantes principales (ACP) afin d'obtenir une représentation graphique de la variabilité présente (Figure 8).

On observe qu'une part importante de la variabilité (61%) est expliquée par l'axe 1. La répartition des variétés sur cet axe explique donc assez bien le comportement variétal. En effet, on constate que toutes les variétés stressées se situent à gauche alors que les irriguées se situent à droite du graphique. L'axe 2 représente 24 % de la variabilité, les deux axes cumulent donc 85 % de la variabilité totale. Les coefficients affectés aux variables de l'équation linéaire de l'axe 1 (vecteur propre 1) sont tous positifs et élevés : le coefficient de CRE4 est le plus élevé avec 0,59. Pour l'axe 2, les coefficients de MSA et MSR sont peu différents de ceux de l'axe 1 mais négatifs alors que Ψ_{fol4} est affecté du coefficient le plus élevé (0,73).

Groupements variétaux

Le premier groupe de variétés est constitué par Fleur 11 et 57-422. Ces deux variétés se situent dans la partie inférieure du tableau, elles sont donc caractérisées par des Ψ_{fol4} très bas en STR comme en IRR. Dans ce groupe, les STR (Figure 8, à gauche) sont très éloignés des IRR, ce qui signifie que ces deux variétés développent une stratégie de forts CRE, MSR et MSA en IRR alors que leurs CRE, MSR et MSA sont très affectés par le déficit hydrique. On pourrait donc en conclure que ces variétés ont un très bon comportement en irrigué alors qu'elles sont sensibles au stress. C'est le cas de 57-422 mais ce n'est que partiellement le cas de Fleur 11 qui maintient une bonne production en condition de sécheresse. Nous faisons l'hypothèse que l'étonnante plasticité du rendement de Fleur 11 observée au Sénégal doit trouver un complément d'explication ailleurs (groupement et précocité de la floraison ou tolérance membranaire (?), résultats non fournis).

La variété SR1-4str occupe le même espace que 57-422str et Fleur11str mais en IRR, cette variété occupe le tiers médian du graphique (Figure 8) ce qui incite à penser qu'elle est probablement handicapée en irrigué. Ceci s'explique sans doute par la faiblesse de son système racinaire mise en évidence par l'analyse univariée. C'est d'ailleurs ce que nous avons observé au champ, en condition d'alimentation hydrique contrôlée (Clavel, 1997).

Le deuxième groupe de variétés se situe en haut du graphique où les distances qui séparent les IRR des STR sont plus réduites. Ce groupe de variétés constitué par GC 8-35, 55-437 et 73-30, paraît donc se comporter de façon moins contrastée en fonction des régimes hydriques. Les MSA et MSR sont assez peu développés en IRR et leurs réductions sous stress est relativement moins importante. Par ailleurs, la position de ce groupe en haut du graphique en IRR comme en STR indique un potentiel hydrique élevé quel que soit le régime hydrique. La contrainte hydrique exprimée par Ψ_{fol4} est donc moins forte pour

ce groupe de variétés. Sachant par ailleurs que ce groupe possède un niveau de productivité inférieur à Fleur 11 et 57-422, on peut faire l'hypothèse que les variétés dont le potentiel hydrique est élevé et dont le système racinaire est limité en conditions irriguées se comporteront correctement face à la sécheresse mais n'exprimeront peut-être pas de rendements très importants si le régime hydrique est bon. Dans le cas de 73-30, nous avons observé un système racinaire plus performant en irrigué que celui des autres variétés de ce groupe mais la conductance stomatique faible de cette variété (Annerose, 1990) compromet son potentiel de production.

La situation de la variété 55-138 str au centre du graphique témoigne d'une stratégie intermédiaire tant pour le CRE4 que pour les systèmes aériens et racinaires que nous avons relevée lors des analyses univariées. Nos observations agronomiques apportent une validation à ce résultat puisque le rendement de cette variété s'est situé entre celui de Fleur 11 (la meilleure variété) et ceux des autres variétés lors du test agronomique en conditions d'alimentation hydrique contrôlées (Clavel, 1997).

Conclusion

Les résultats de cette étude nous ont permis d'opérer une sélection parmi les 21 paramètres mesurés au cours de cet essai. Malgré le fait que la gamme variétale était limitée à des génotypes potentiellement adaptés à la sécheresse, des interactions significatives entre génotypes et régimes hydriques ont été observées pour CRE2, Ψ_{fol4} , SA, MSA et MSR. L'interaction relevée sur le CRE2 étant faible et CRE4 ayant permis une différenciation variétale, nous avons choisi CRE4 de préférence à CRE2. C'est donc après quatre semaines de stress hydrique précoce qu'il nous a été possible de définir des stratégies variétales en matière d'adaptation à la sécheresse à partir de ces variables. Les différences entre régimes hydriques apparaissent plus précocement, dès la première semaine pour les CRE et dès la deuxième semaine pour les potentiels hydriques. Ceci indique une bonne sensibilité de ces paramètres mais ne permet pas de différencier les génotypes relativement proches présents dans cette étude à l'exception de la variété 57-422, qui est une Virginia semi-tardive.

L'analyse multivariée montre que 85 % de la variabilité observée est expliquée par les quatre variables : CRE4, Ψ_{fol4} , MSA et MSR. La représentation graphique de cette variabilité dans un plan (Figure 8) a permis de définir des groupes de comportement variétal qui correspondent bien aux observations agronomiques de terrain des variétés. Ce résultat confirme la pertinence des variables sélectionnées. La technique de criblage variétal précoce en rhizotrons devra donc tenir principalement compte du comportement variétal au niveau de ces quatre paramètres.

Malheureusement, dans nos conditions expérimentales, il n'a pas été possible d'utiliser les résultats de la conductance stomatique alors que l'intérêt d'une sélection de cultivars d'arachide à forte conductance a été suggéré par certaines études à condition que cette mesure soit couplée avec celle de la photosynthèse nette (Nautiyal 1985, Annerose, 1990). L'amélioration de la liaison entre Ψ_{fol} et Gs en fin d'expérimentation permet de penser que la mesure porométrique doit être réalisée sur des plantes relativement âgées. Par ailleurs, les corrélations, fortes ou absentes en fonction du déficit hydrique, entre les paramètres du statut hydrique des feuilles et ceux de la croissance racinaire suggèrent que la relation croissance racinaire / conductance stomatique n'est pas en relation simple avec la disponibilité en eau au niveau des racines.

Références

Annerose D.J.M, 1990. Recherches sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Application au cas de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) cultivée au Sénégal. Thèse de Doctorat, Université de Paris VII. Paris (France). 282 pages.

Annerose D.J.M, 1988. Critères physiologiques pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. *Oléagineux* (43) 5 : 217-221.

Cedola M.C., Iannucci A., Scalfati G., Soprano M., Rascio A., 1994. Leaf morpho-physiological parameters as screening techniques for drought stress tolerance in *Triticum durum* Desf. *J. Genet. & Breed.* (48) : 229-236.

Clavel D., 1996. L'adaptation génétique de l'arachide face à la sécheresse : critères et méthodes de sélection. Communication présentée à l'atelier CERAAS /Base-Centre Arachide tenu à Bambey (Sénégal) du 17 au 20 décembre 1996. 10 p.

Clavel D., 1997. Amélioration génétique de l'arachide pour l'adaptation à la sécheresse. Troisième rapport scientifique du contrat N° TS3* CT93-0216, ISRA, Bambey (Sénégal) et CIRAD, Montpellier (France). 10 p + annexes.

Khalfaoui J.L.B., 1990. Genetic of adaptation to drought of cultivated species and consequences in plant breeding. *Société Botanique de France* (137) 1 : 125-137.

Khalfaoui J.L.B., 1988. Approche de l'amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées en zone semi-aride. Application au cas de l'arachide cultivée (*Arachis hypogaea* L.) destinée à la région sèche du Sénégal. Thèse de Doctorat. Université de Paris Sud (France). 297p.

Levitt J., 1985. Relationships of dehydration rate to drought avoidance, dehydration tolerance and dehydration avoidance of cabbage leaves, and their acclimatation during drought-induced water stress. *Plant Cell. Environn.* (8) : 287-296.

Nageswara Rao., Sadar Singh, Sivakumar M.V.K., Srivastava K.L., Williams J.H., 1985. Effect of water deficit at different growth phases of peanut. I. Yield responses. *Agronomy Journal* (77) : 782-786.

Nautiyal P.C., Ravindra V., Joshi Y., 1995. Gas exchange and leaf water relations in two peanut cultivars of different drought tolerance. *Biologica Plantarum* (37) 3 : 371-374.

Tardieu F., 1995. Un contrôle conjoint de la transpiration, de l'état hydrique foliaire et de messages chimiques d'origine racinaire chez le tournesol. *OCL* (2) N°6 : 465-470.

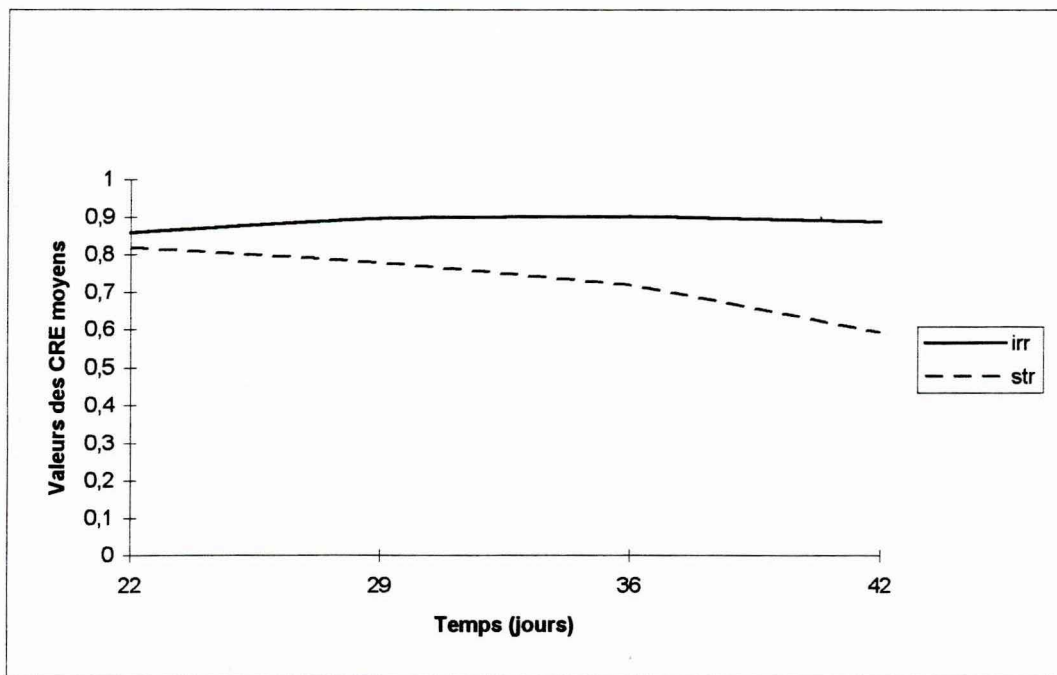


Figure 1. Evolution des CRE moyens en fonction de la progression du déficit hydrique

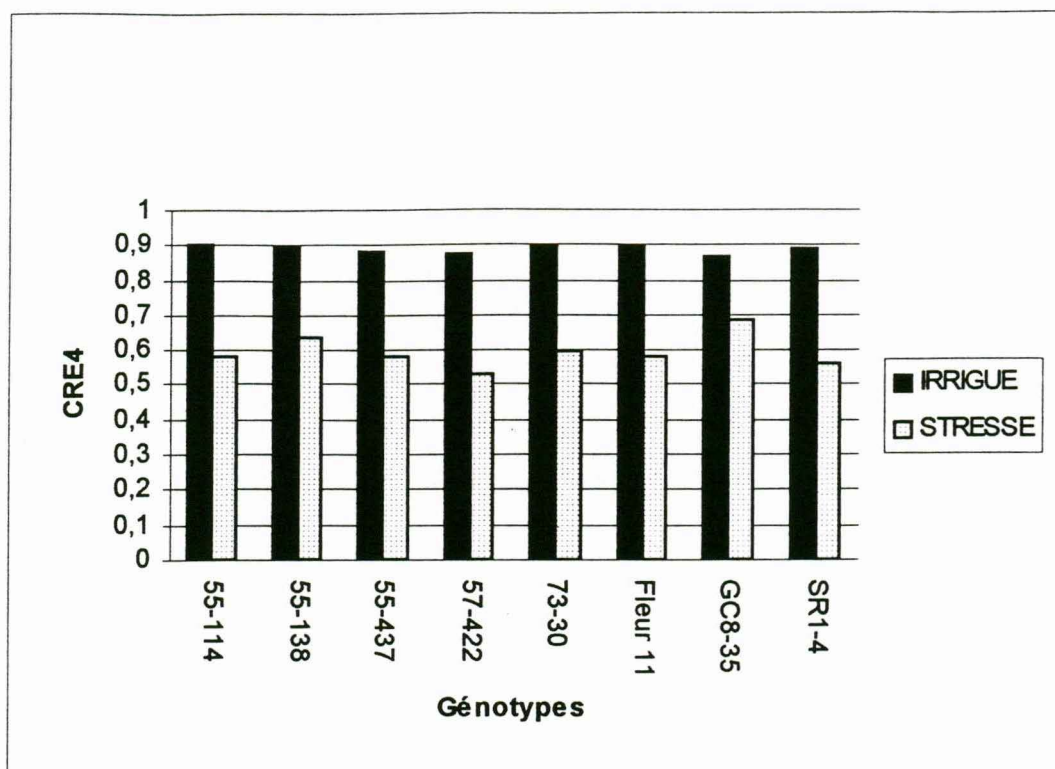


Fig. 2. Evolution des CRE après 4 semaines d'arrêt d'arrosage

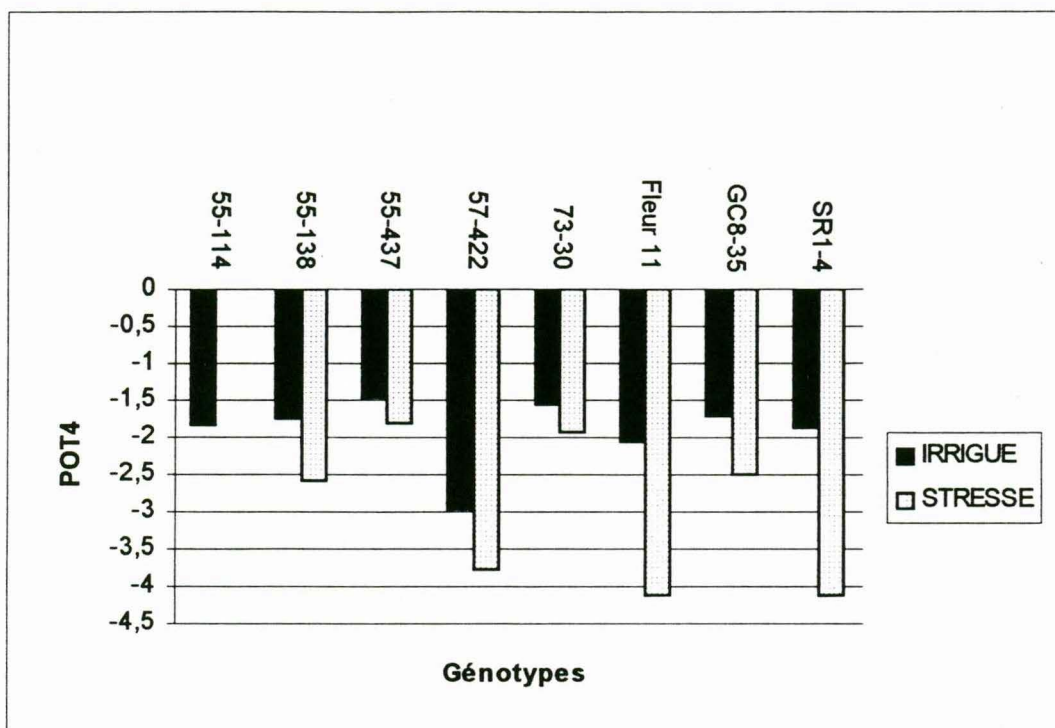


Fig. 3. Evolution des potentiels hydriques après 4 semaines d'arrêt d'arrosage

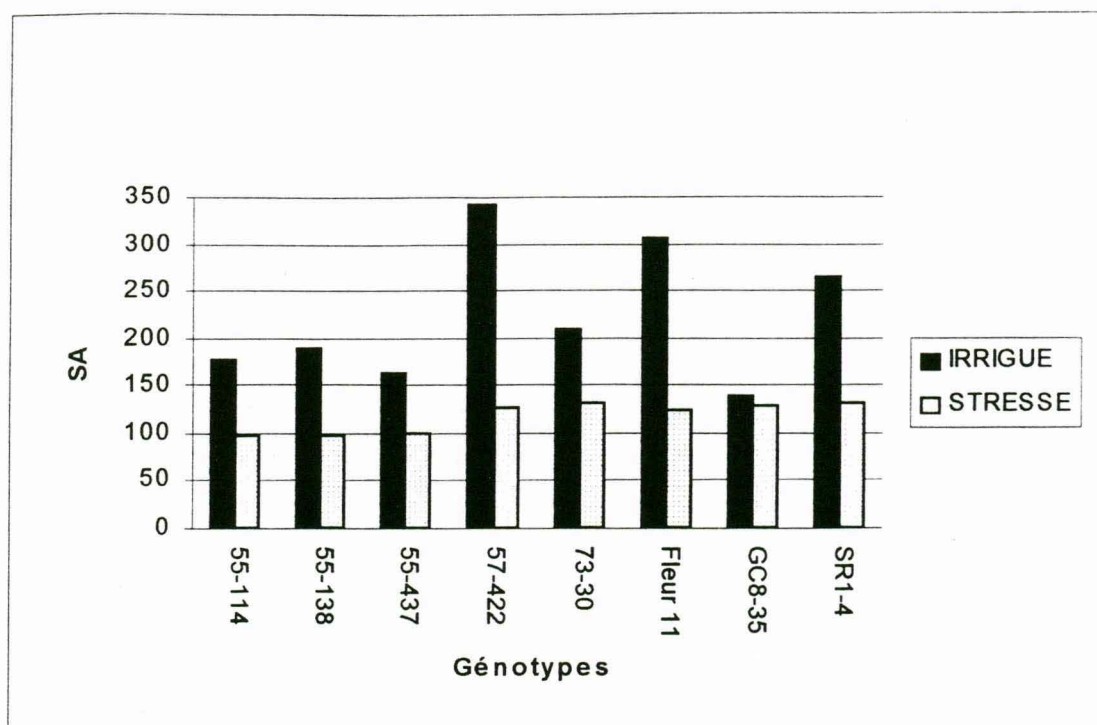


Fig.4. Evolution des surfaces foliaires (SA) après 4 semaines d'arrêt d'arrosage

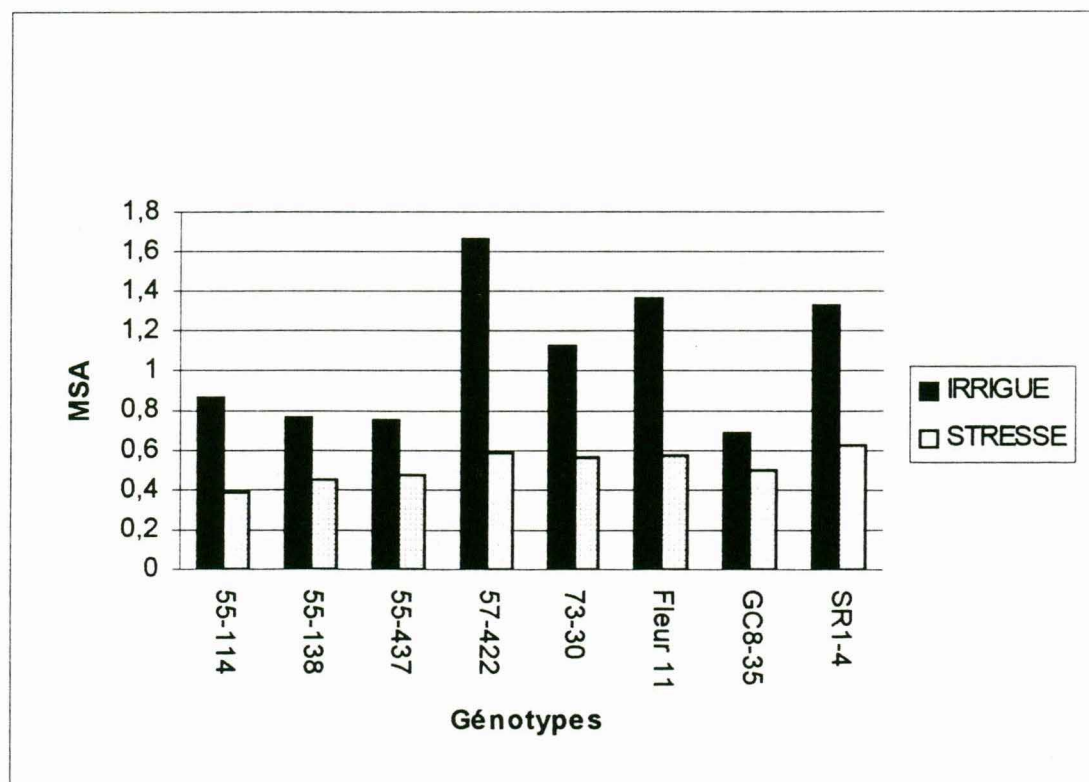


Fig.5. Evolution des MSA après 4 semaines d'arrêt d'arrosage

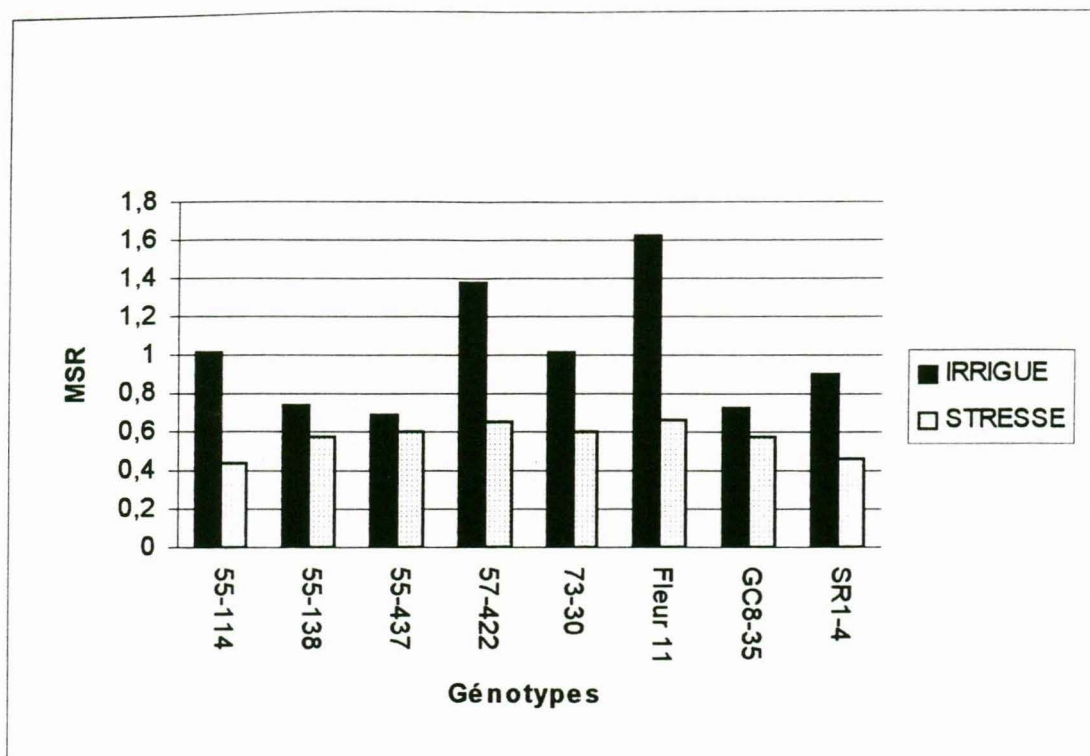


Fig. 6. Evolution des MSR après 4 semaines d'arrêt d'arrosage

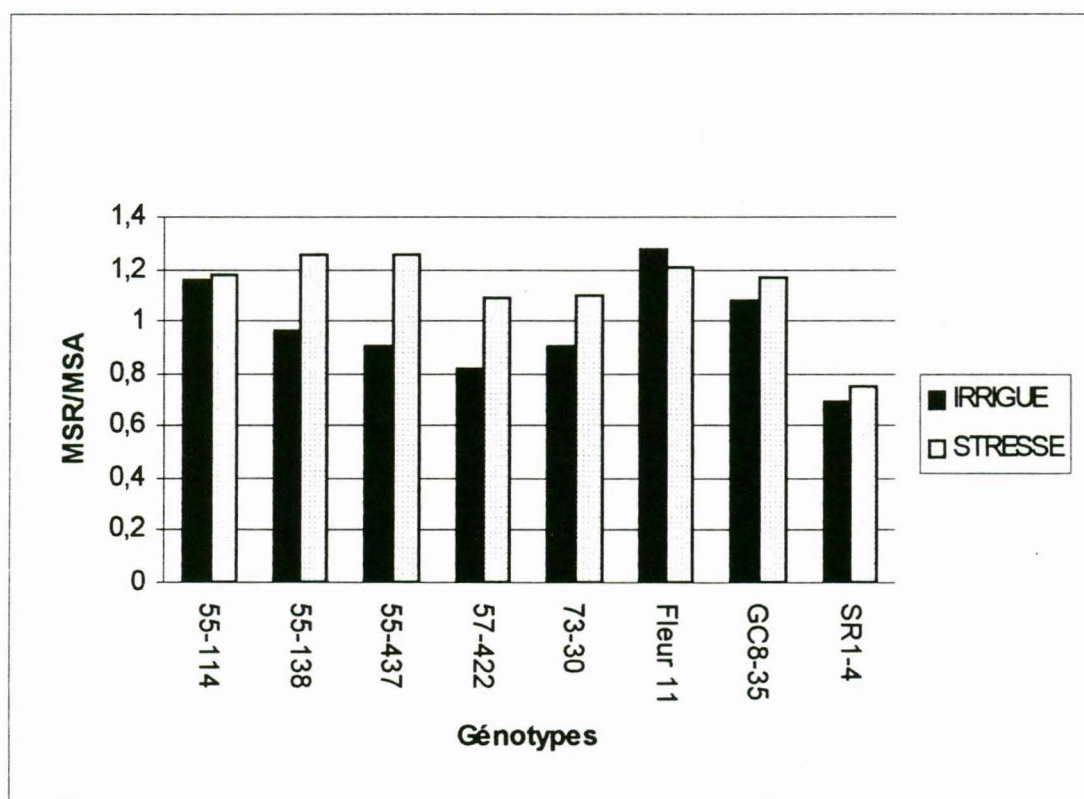


Fig. 7. Evolution des ratio MSR/MSA après 4 semaines d'arrêt d'arrosage

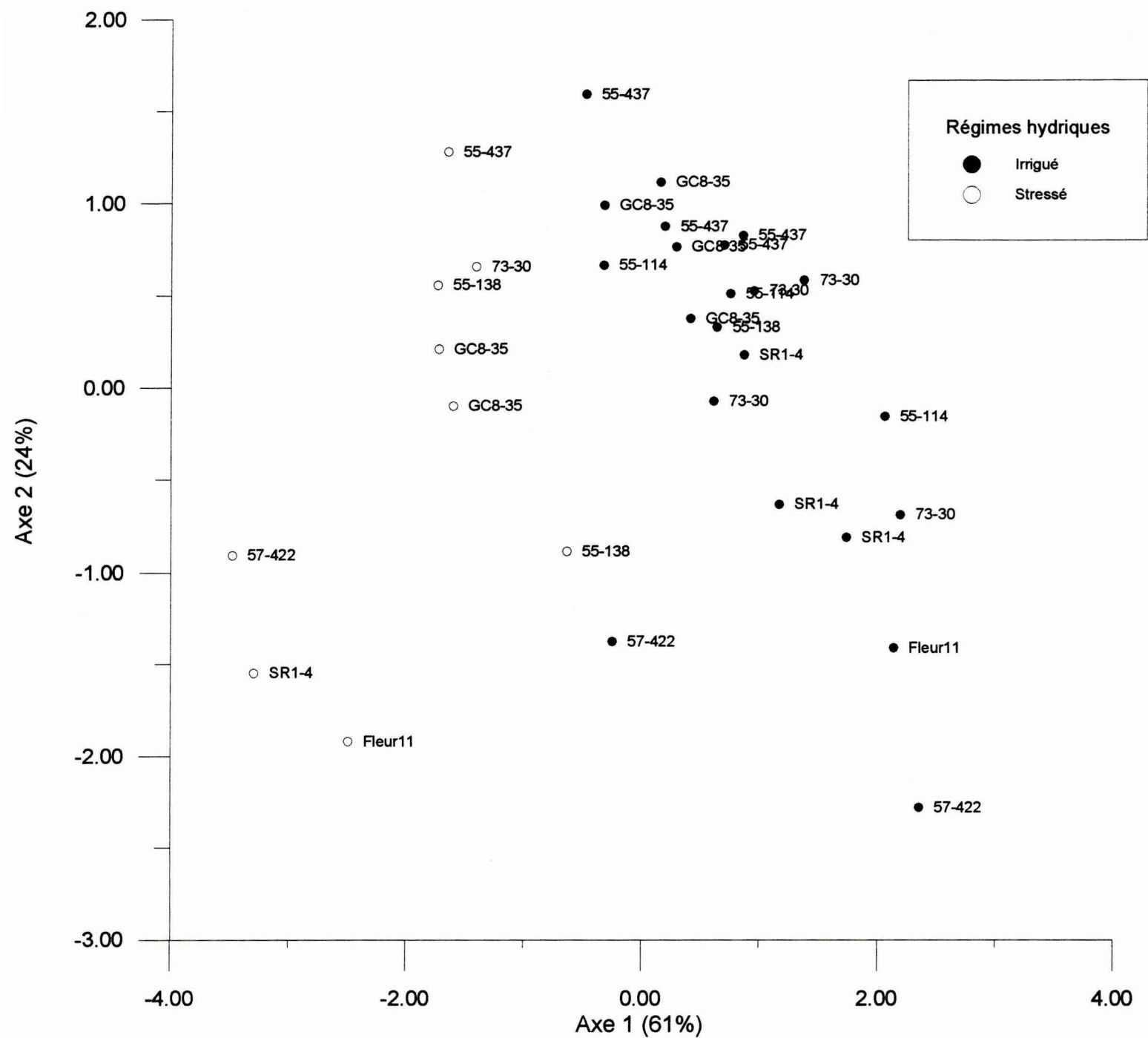


Figure 8. Représentation de la variabilité selon les deux axes principaux de l'ACP sur POT4, CRE4, MSA, MSR

	CRE1	CRE2	CRE3	CRE4	TR2	TR3	TR4	GS2	GS3	GS4	POT1	POT2	POT3	POT4	RAC1	RAC2	RAC3	SA	MSA	MSR	RATIO
CRE1	1,00																				
CRE2	0,40	1,00																			
CRE3	0,46	0,73	1,00																		
CRE4	0,28	0,79	0,86	1,00																	
TR2	0,13	0,53	0,40	0,56	1,00																
TR3	-0,35	0,10	-0,12	0,09	0,24	1,00															
TR4	-0,50	0,17	0,02	0,25	0,26	0,70	1,00														
GS2	0,12	0,57	0,37	0,54	0,99	0,28	0,26	1,00													
GS3	-0,33	0,12	-0,12	0,08	0,23	1,00	0,69	0,27	1,00												
GS4	-0,52	0,12	-0,03	0,19	0,18	0,76	0,99	0,19	0,74	1,00											
POT1	-0,20	-0,05	-0,19	-0,06	-0,06	0,38	0,46	-0,04	0,37	0,48	1,00										
POT2	-0,29	0,31	-0,15	0,18	-0,07	0,36	0,48	-0,03	0,38	0,50	0,42	1,00									
POT3	-0,13	0,06	-0,30	-0,18	0,03	0,31	0,51	0,08	0,33	0,52	0,49	0,52	1,00								
POT4	-0,28	0,11	-0,07	0,29	0,25	0,20	0,50	0,24	0,19	0,44	0,20	0,63	0,37	1,00							
RAC1	0,65	0,41	0,42	0,22	-0,15	0,01	0,01	-0,12	0,04	0,04	0,32	0,14	0,32	-0,15	1,00						
RAC2	0,17	0,25	-0,10	-0,01	0,02	0,44	0,34	0,06	0,45	0,36	0,71	0,48	0,48	0,23	0,49	1,00					
RAC3	-0,06	0,20	-0,11	0,13	0,30	0,49	0,52	0,31	0,48	0,52	0,77	0,57	0,58	0,54	0,28	0,83	1,00				
SA	0,46	0,34	0,63	0,55	-0,03	-0,19	-0,31	-0,03	-0,18	-0,32	-0,22	-0,15	-0,22	-0,05	0,37	-0,26	-0,30	1,00			
MSA	0,42	0,41	0,66	0,54	0,03	-0,26	-0,37	0,04	-0,25	-0,40	-0,19	-0,18	-0,32	-0,06	0,30	-0,20	-0,27	0,94	1,00		
MSR	0,74	0,51	0,60	0,58	0,62	-0,34	-0,32	0,59	-0,34	-0,39	-0,38	-0,25	-0,17	0,08	0,25	-0,16	-0,04	0,44	0,41	1,00	
RATIO	0,40	0,12	-0,04	0,03	0,53	-0,28	-0,17	0,50	-0,28	-0,22	-0,26	-0,15	0,07	0,05	-0,05	-0,07	0,07	-0,35	-0,40	0,64	1,00

Tableau 1. Tableau des corrélations entre les 21 variables mesurées

Etude des paramètres morpho-physiologiques en rhizotrons de huit variétés d'arachide en vue d'une amélioration des tests de sélection pour l'adaptation à la sécheresse.

*Danièle CLAVEL / CIRAD, ISRA Centre Nord Bassin Arachidier, BP 53, Bambey, Sénégal
Macumba DIOUF / CERAAS, BP 3320, Thiès Escalé, Thiès, Sénégal*

Résumé

L'obtention de variétés à cycle court, égal ou inférieur à 90 jours, et qui possèdent des caractères physiologiques leur permettant de supporter d'importantes périodes de sécheresse au cours du cycle est le principal objectif de sélection de l'arachide pour les régions centre et nord du Bassin Arachidier sénégalais. Cette recherche, nécessairement pluridisciplinaire, suppose de disposer d'une méthode rapide et fiable pour sélectionner les génotypes à partir de critères physiologiques.

L'objectif de cette étude est d'une part, d'améliorer la connaissance de la physiologie de lignées nouvellement créées et d'autre part, de perfectionner la méthodologie de criblage variétal précoce sur tests physiologiques en rhizotrons.

Le matériel végétal est constitué par 8 entrées potentiellement adaptées à la sécheresse. Le dispositif est un plan factoriel à 2 facteurs étudiés (génotype et régime hydrique) et à 4 répétitions. Les unités expérimentales sont constituées par 64 rhizotrons disposés en 4 blocs randomisés. L'expérimentation a été conduite pendant 6 semaines, en contre-saison chaude et conditions d'alimentation hydrique contrôlées : une suspension d'arrosage a été réalisée à partir de la 3^e semaine et jusqu'à la fin de l'expérimentation.

Différentes mesures ont été réalisées (morphologiques et physiologiques) pendant les 4 semaines de déficit hydrique. Les paramètres morphologiques sont des mesures de surfaces des systèmes aériens (SA) et de longueurs racinaires complétées par des matières sèches (MSA et MSR). Les paramètres physiologiques ont été mesurés sur la 3^e feuille du rameau principal en partant du sommet : contenus relatifs en eau / CRE1 (1^e semaine de déficit) à CRE4 (4^e semaine de déficit), potentiels hydriques foliaires / Ψ_{fol1} à Ψ_{fol4} , transpirations et conductances stomatiques / Tr2 à Tr4 et Gs2 à Gs4.

Les analyses de variances ont porté sur chacun des paramètres mesurés. Les différences entre régimes hydriques apparaissent plus précocement que les différences variétales : dès la première semaine de suspension d'arrosage pour les CRE et dès la deuxième semaine pour les potentiels hydriques. Ceci indique une bonne sensibilité de ces paramètres mais ne permet pas de différencier les génotypes relativement proches présents dans cette étude.

Les paramètres ayant présenté des interactions ou montré des différences variétales significatives dans l'analyse de la variance univariée sont *a priori* ceux qui permettent l'expression de la plus grande variabilité donc ceux qui permettront la sélection. Nous avons choisi les paramètres Ψ_{fol4} , CRE4, MSR et MSA afin de réaliser une analyse multivariée (ACP).

L'analyse multivariée montre que 85 % de la variabilité observée est expliquée par les quatre variables : CRE4, Ψ_{fol4} , MSA et MSR. La représentation graphique de cette variabilité dans un plan a permis de définir des groupes de comportement variétal qui correspondent bien aux observations agronomiques de terrain réalisées sur ces variétés. Ce résultat confirme la pertinence des variables sélectionnées. C'est donc après quatre semaines de stress hydrique précoce qu'il nous a été possible de définir des stratégies variétales en matière d'adaptation à la sécheresse à partir des variables considérées. La technique de criblage variétal précoce en rhizotrons devra donc tenir principalement compte du comportement variétal au niveau de ces quatre paramètres.

Malheureusement, dans nos conditions expérimentales, il n'a pas été possible d'utiliser les résultats liés aux transpirations (Gs et Tr). Néanmoins, l'intérêt d'une sélection de cultivars d'arachide à forte conductance semble confirmée par la mise en évidence d'une corrélation entre Gs (ou Tr) en début de stress et MSR alors que cette liaison est absente avec MSA, or on connaît l'avantage d'un système racinaire important pour l'adaptation à la sécheresse de l'arachide.

Contribution des aspects physiologiques pour l'amélioration génétique de la résistance à la sécheresse de l'arachide

Maria do Céu Matos* et Joaquim Augusto Lauriano**

*Departamento de Fisiologia Vegetal, Estação Agronómica Nacional. 2780 Oeiras. Portugal.
E-mail: mmatos@mail.telepac.pt

**Fac. Ciências Agrárias, Univ. Agostinho Neto, P.O. Box 236, Huambo, Angola

Introduction

La culture de l'arachide a eu une faible expression économique au Portugal. La plante est cultivée dans des régions caractérisées par un climat semi-aride, au sud du Tagus et dans le NE du pays, seulement pour consommation interne. Notre intérêt réside principalement à l'appui aux pays africains notamment Angola, Guinée et Mozambique (d'expression portugaise), où cette culture prend une importante valeur économique.

Les résultats présentés ici concernent les travaux développés depuis quatre ans dans le cadre du contrat STD3.

Notre contribution envisage l'étude des caractéristiques physiologiques de variétés d'arachide, en ce qui concerne l'adaptation à la sécheresse et leur potentiel photosynthétique. Nous avons d'abord étudié six variétés notamment la Fleur 11, 55-437, 57-422, 73-30, 73-33 et GC8-35. On a étudié les caractéristiques liées à la capacité de conservation de l'eau, la capacité photosynthétique et la résistance protoplasmique à travers de la mesure de l'intégrité membranaire.

Les measurements de plus en plus spécialisés nous ont obligés à réduire le numéro de cvs à étudier. Nous avons poursuivi avec trois ou quatre cvs: 57-422, 73-30, GC8-35 et quelques fois la Fleur 11. Les cvs ont été étudiés sur la productivité photosynthétique, en particulier les processus liés à la photosynthèse nette, capacité photosynthétique et les aspects liés à la carboxylation, captation de la lumière et transport des électrons. Les relations hydriques ont été abordées au niveau des processus liés à la conservation de l'eau: transpiration, contrôle stomatique et disponibilité de l'eau mesurée par le potentiel hydrique et teneur relative en eau. L'efficacité de l'utilisation de l'eau, les aspects liés à la croissance et partition de la biomasse, bien que les aspects liés à la résistance protoplasmique à la sécheresse, ont été aussi considérés.

Résultats

Caractérisation photosynthétique des variétés

Sur la capacité photosynthétique en conditions d'une bonne alimentation hydrique (Témoin) on a pu distinguer deux groupes (Fig. 1):

Ceux de capacité la plus faible: cv 73-30 et 55-437

Un autre de valeurs les plus hautes: cv GC8-35, Fleur 11, 57-422 et 73-33.

En conditions de sécheresse:

On a étudié l'effet du dessèchement soit par suspension d'arrosage, soit par application d'une solution osmotique de PEG (Fig. 1). Le cv 55-437 a souffert les moindres réductions suivit de la 57-422.

Relations hydriques

Le cv 73-30 a eu une transpiration cuticulaire plus haute que les autres, correspondant à 44.1% de la transpiration totale. Ce cv ferme ses stomates à des valeurs de contenu relatif en eau supérieures à celles des autres variétés. Elle a présenté aussi une conductance foliaire à la diffusion de la vapeur d'eau plus réduite que les autres en conditions de bonne disponibilité d'eau (Fig. 2).

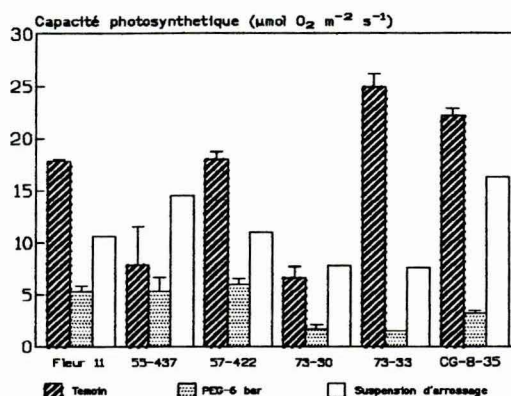


Fig. 1 Effet du stress hydrique sur la capacité photo-synthétique de cvs d'arachide

Communication présentée à la réunion des partenaires du projet TS3-CT93-0216 / Sept-Oct 97/MC Matos

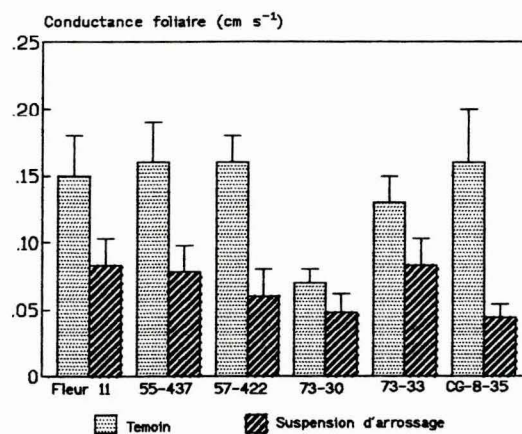


Fig. 2 Effet du stress hydrique sur la conductance foliaire à la diffusion de la vapeur d'eau de cvs d'arachide

Résistance protoplasmique des variétés

On a fait la caractérisation des variétés en ce qui concerne les dégâts membranaires qui suivent le stress osmotique, provoqué par une solution de PEG. Le cv 57-422 a montré une sensibilité inférieure tandis que 73-30 a été la plus affectée.

Aspects biochimiques et biophysiques de la photosynthese :

Activité de l'enzyme ribulose biphosphate carboxylase-oxydase (Fig. 3):

On a mesuré l'effet du stress hydrique sur l'activité de l'enzyme ribulose biphosphate carboxylase/oxydase (Rubisco) chez 57-422, 73-30 et GC8-35. On a observé une meilleure activité de cette enzyme à des contenus relatifs en eau inférieurs à la maxime hydratation. Quand la déshydratation est plus sévère l'activité de la Rubisco est affectée en toutes les variétés.

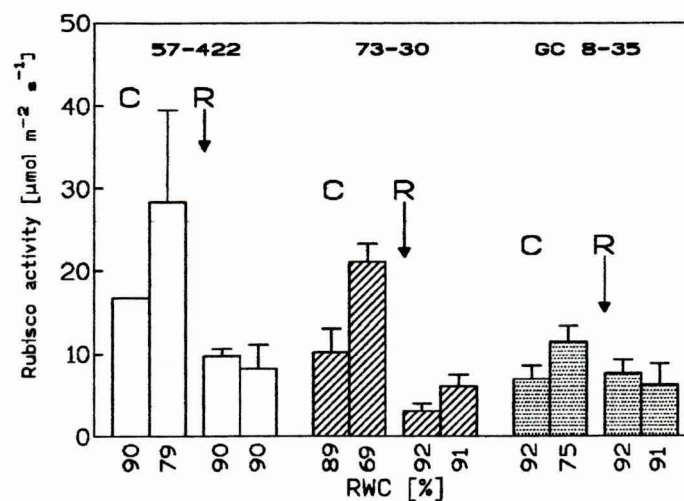


Fig. 3 Activité de l'enzyme ribulose biphosphate carboxylase/oxydase de cvs d'arachide en conditions de stress hydrique et dans la reprise.

Processus liés à la captation de la lumière et transport d'électrons.

Ces aspects ont été mesurés *in vitro* ou pour la fluorescence de la chlorophylle. Les activités du transport électronique du PS2 et PS1 (le dernier seulement chez GC8-35) ont souffert une réduction en conditions de sécheresse (Fig. 4). L'assèchement a aussi réduit la raison FV/FM (Fig. 5), étant GC8-35 la plus affectée. La réduction chez 57-422 a été plus faible. La fluorescence basale (F0) a souffert une augmentation chez 73-30 et GC8-35 ce qu'on n'a pas observé chez 57-422.

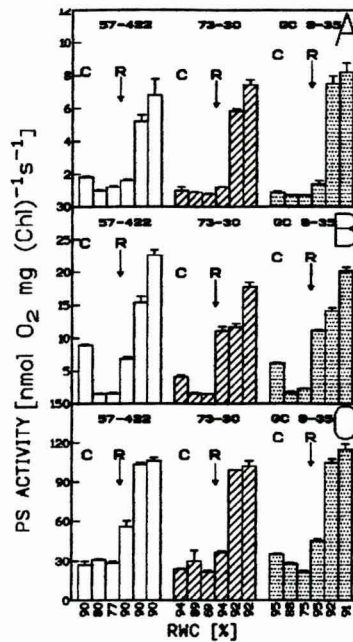


Fig. 4 Effet du stress hydrique et de la réhydratation sur les taux de transport photosynthétique des électrons au niveau des membranes tylacoïdales, de cvs d'arachide

Tous les cvs ont montré des réductions au niveau du quenching photochimique (qp) et de l'efficacité quantique du transport électronique du PS2 (ϕ_e). Pendant la reprise, on a observé une augmentation de la plupart des paramètres.

Le cv. 57-422 a montré un meilleur degré de tolérance à la sécheresse étant affecté graduellement en opposition aux autres où on observe une forte réduction de la capacité photosynthétique (PC) au début du cycle de sécheresse (Fig. 6).

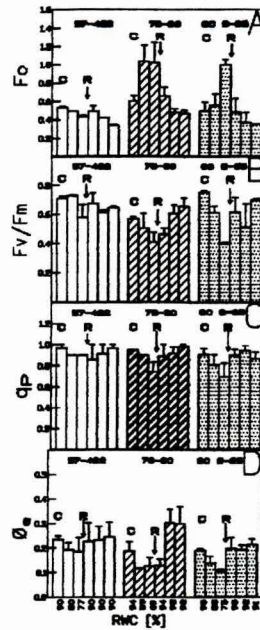


Fig. 5 Effet du stress hydrique et de la réhydratation sur les paramètres de la fluorescence de la chlorophylle de cvs d'arachide

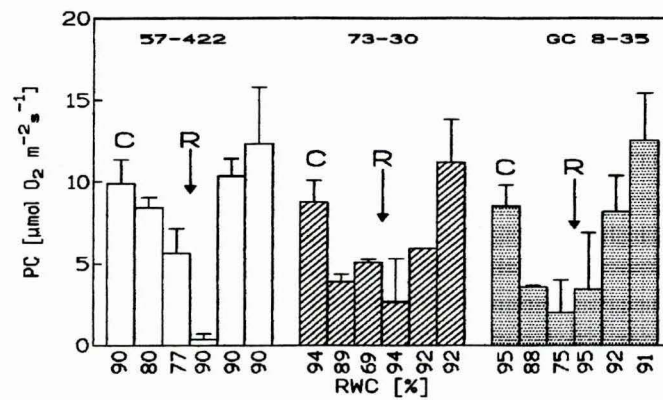


Fig. 6 Effet du stress hydrique sur la composition lipidique des membranes thylacoïdales

Communication présentée à la réunion des partenaires du projet TS3-CT93-0216 /Sept-Oct. 97/MC Matos

Étude des transporteurs d'électrons par dosage du pool des quinones et des cytochromes: cyt559HP, cyt 559LP, cyt563 et cyt f (Fig.7).

Les différents composés de la chaîne des transporteurs d'électrons (CTE) ont comme principale caractéristique celle d'être en alternance oxydés et réduits pour que le transport d'énergie puisse se faire.

Le stress hydrique moyen a affecté le pool des quinones seulement chez 57-422 et GC8-35. En conditions plus sévères toutes les variétés ont été affectées.

Cit b559_{LP} n'a été affecté en conditions moyennes que chez la Fleur 11.

En conditions de stress sévère tous les cvs ont été affectés principalement les 73-30 et GC8-35.

Effet de l'assèchement sur le contenu des caroténoïdes (Fig.8)

L'étude des caroténoïdes a eu aussi assez de pertinence car ces pigments au delà d'avoir une fonction de captation de la radiation (ils se localisent aux centres photosynthétiques) ont une fonction antioxydative.

On a observé une réduction des quantités moyennes des caroténoïdes chez toutes les variétés en conditions de déficit hydrique. Les var. 73-30 et Fleur 11 ont une réduction plus marquée en conditions de stress hydrique moyen (MDS) qu'en sévère (SDS)

Les classes de caroténoïdes ont été affectées différemment selon les génotypes et le niveau de déficit.

Composition lipidique des membranes thylacoïdales (Fig. 9)

- On a observé des différences intervariétales. En ce qui concerne le contenu lipidique des membranes des témoins, les 73-30 et 57-422 ont présenté les meilleures valeurs.
- On a observé au cours de la déshydratation: une plus forte réduction chez 73-30 en rapport à 57-422 et une réduction graduelle chez 57-422.
- La Fleur 11 considérée par le test de la fuite d'électrolytes sensible a présenté les teneurs lipidiques les moindres.
- En conditions de stress moyen (MDS) une remontée des teneurs d'acyl-lipides totaux chez Fleur 11, où MGDG est le principal responsable
- En conditions de stress sévère (SDS) une remontée des teneurs d'acyl-lipides totaux chez GC8-35

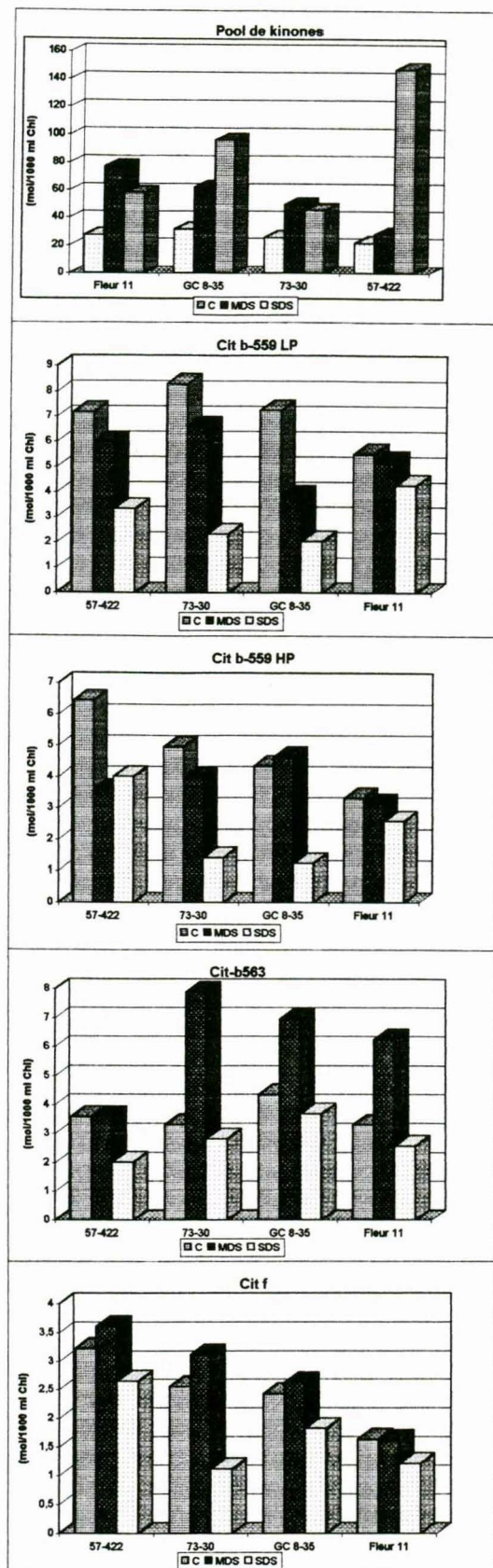


Fig. 7 Effet du dessèchement sur les transporteurs d'électrons par dosage du pool des quinones et des cytochromes: cyt559HP, cyt 559LP, cyt563 et cyt f

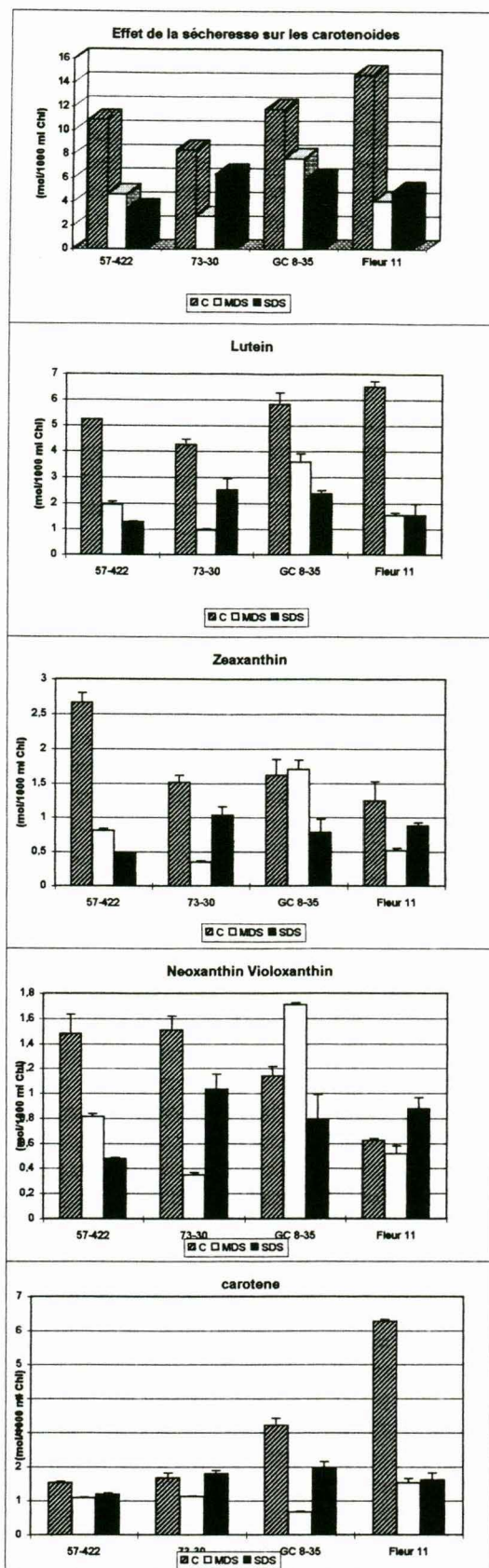


Fig. 8 Effet du dessèchement sur le contenu des caroténoïdes

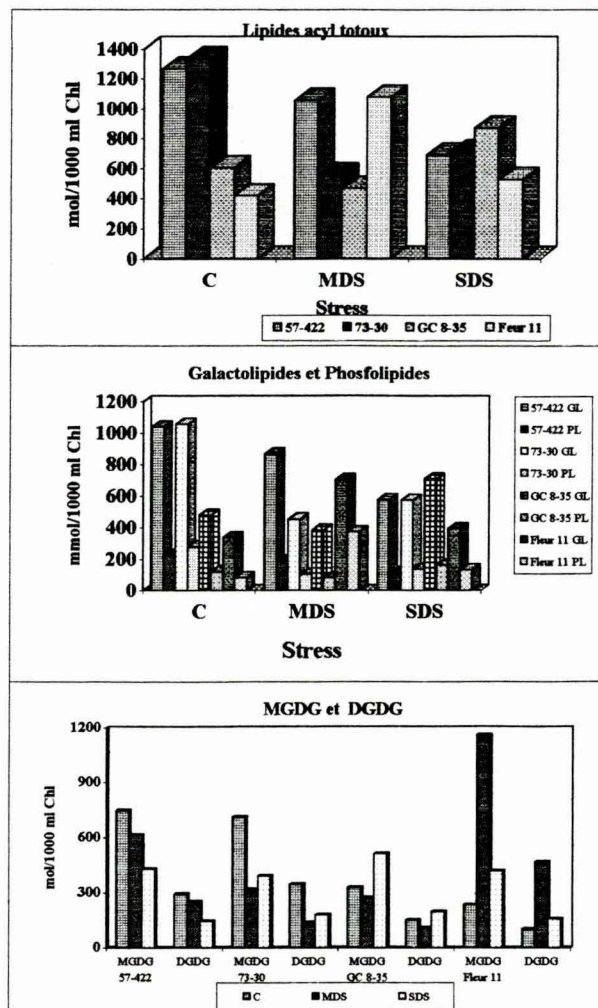


Fig. 9 Effet du dessèchement sur la composition lipidique des membranes thylacoïdales

- La bonne résistance protoplasmique observée par la fuite d'électrolytes du cv 57-422 semble être en relation avec la lente dégradation des lipides quand le stress augmente. On considère que plus les variétés sont résistantes à la sécheresse moins les lipides membranaires sont dégradés

Ajustement osmotique

L'analyse des résultats sur l'ajustement osmotique est en cours. On peut cependant avancer qu'en ce qui concerne la proline (Fig. 10), on a vérifié une accumulation seulement en conditions de stress hydrique sévère chez tous les cvs, ayant un peu plus forte chez 57-422.

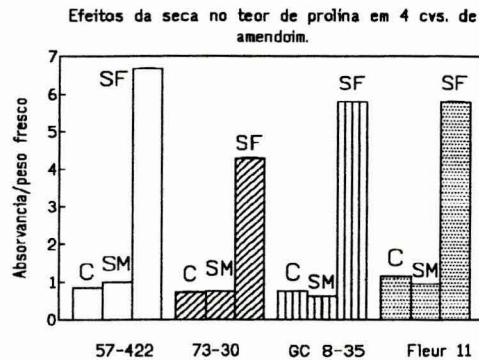


Fig. 10 Effet du stress hydrique sur la teneur en proline de cvs d'arachide en conditions de stress hydrique modéré (SM) et sévère (SF)

Effet de l'assèchement sur la croissance. Partition de biomasse. Efficience de l'utilisation d'eau.

Nous irons parler un peu sur ce dernier aspect qui n'a pas encore été rapporté. On a suivi l'effet du déficit hydrique sur les relations hydriques, la croissance, la photosynthèse nette, et l'efficience de l'utilisation de l'eau sur les trois cvs d'arachide: 57-422, 73-30 et GC8-35.

L'expérimentation s'est déroulée en serre où les plantes ont poussé sous conditions naturelles. Toutes les plantes ont été irriguées quand il fallait jusqu'à la capacité de champ (CC) jusqu'aux 40 jours. L'administration de solution

nutritive se processait une fois toutes les semaines. Les plantes ont été séparées en deux groupes: les plantes témoin, qui recevaient l'eau correspondante à la capacité de champ et les plantes stressées soumises à une contrainte hydrique par arrêt d'arrosage jusqu'au 70% CC. Les plantes ont été laissées sous ces conditions pendant 30 jours.

En ce qui concerne la croissance, nos résultats montrent que le stress hydrique a provoqué une réduction sur la biomasse totale (TBA) étant la cv 57-422 la plus affectée (Fig. 11). Les incréments de biomasse ont varié de la même façon. Ce cv croît rapidement quand l'eau est disponible et sa croissance est limitée quand l'eau manque.

L'analyse sur la distribution de biomasse montre que:

Il arrive une augmentation de la biomasse racinaire plus grande en cv GC8-35 et moins en cv 73-30 et 57-422. En ce qui concerne la raison "root/shoot" elle a augmenté en tous les cvs, étant cette augmentation plus grande chez les cvs GC8-35 et 57-422.

Pour tous les cvs, les réductions sur le système aérien sont dues plus aux réductions de la biomasse des feuilles qu'à la diminution de la biomasse des tiges. Ça a été plus évident chez cv 73-30. Cv 57-422 a montré une grande augmentation de la biomasse des racines associée à une forte réduction de la partie aérienne. GC 8-35 a souffert une légère réduction de la partie aérienne et la plus haute augmentation de la biomasse du système racinaire. Ce cv semble avoir le meilleur ajustement de la raison "root/shoot" parce qu'il a réussi d'augmenter la possibilité l'absorption de l'eau sans avoir une considérable affectation de l'appareil photosynthétique.

En ce qui concerne l'WUE (Fig. 11), sous l'effet de la contrainte hydrique il y a une augmentation considérable des cvs 57-422 et GC8-35. Chez le cv 73-30 l'augmentation a été très petite. La plus grande augmentation de 57-422 a été due à une moins forte réduction de biomasse par rapport à la réduction des pertes de l'eau. GC8-35 a présenté une légère réduction de la biomasse associée à une considérable restriction dans la consommation de l'eau. Ce cv a montré le meilleur équilibre entre les réductions de matière sèche produite et la dépense en eau.

En ce qui concerne la photosynthèse nette en conditions de bonne alimentation hydrique les cvs 57-422 et la GC8-35 présentent les valeurs les plus élevées. La cv 73-30 les moindres (Fig. 12)

Il semble avoir une corrélation entre la photosynthèse nette instantanée des feuilles (P_n) des cvs et la production des gousses des plantes en pots (obtenus en essai précédent).

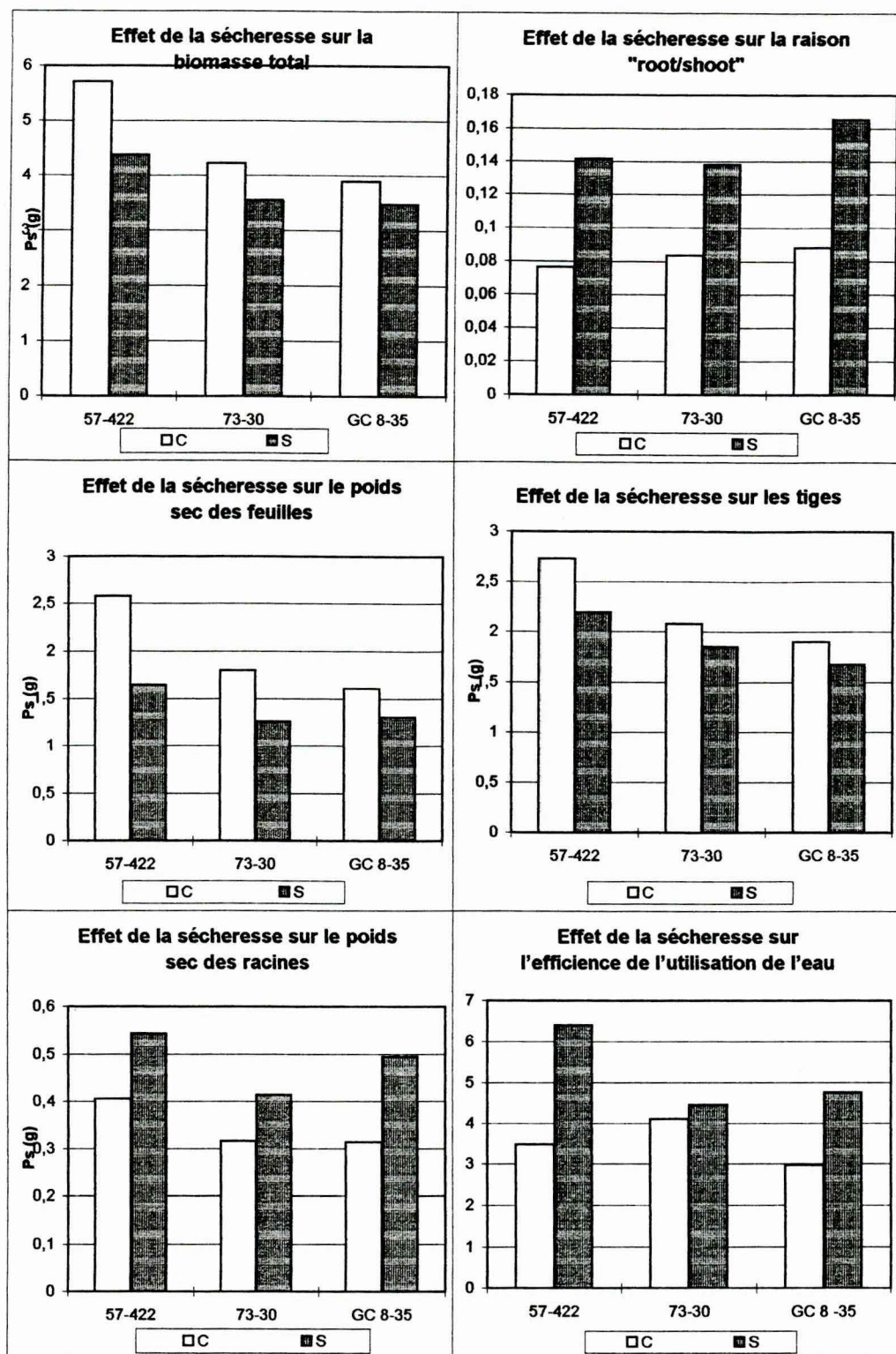


Fig. 11 Effet du dessèchement sur la biomasse totale, partition de biomasse et efficacité de l'utilisation d'eau (WUE)

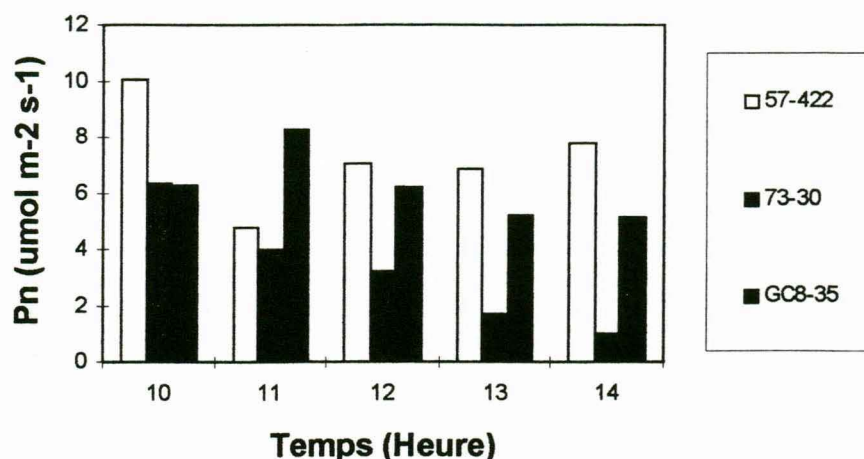


Fig. 12 Effet du stress hydrique sur la photosynthèse nette au cours de la journée

Cet essai a révélé pour la 57-422 une bonne corrélation entre Pn et la production de la matière sèche totale (c'est le cv qui présente les valeurs les plus élevées de Pn et TBA). Ce cv présente aussi les plus grands taux de croissance qui doivent s'écouler de la plus grande biomasse foliaire associée à un taux photosynthétique élevé. En ce qui concerne les restant cvs, GC8-35 a présenté une meilleure production de gousses par rapport à 73-30. La Pn de GC8-35 est aussi meilleure que celle de 73-30.

En ce qui concerne la biomasse totale et le taux de croissance, ces deux cvs ne sont pas différents, ce qui peut paraître un manque de corrélation entre Pn et ces deux paramètres. Toutefois les résultats relatifs à la partition de biomasse montrent que la GC8-35 présente une biomasse foliaire plus réduite, ce qui peut signifier une Pn totale équivalente à celle de 73-30. Le taux de croissance et la production de biomasse totale sont effectivement semblables pour les deux.

Sous contrainte hydrique on a observé une forte réduction de Pn chez 57-422 et GC8-35.

Cv 73-30 a été la moins affectée.

La sécheresse a eu un effet visible sur la distribution de la matière sèche des différents organes en toutes les variétés:

Le pourcentage de la tige dans le contrôle a varié entre 48 et 49% sur le total et a changé pour 49-53% en conditions de sécheresse.

Le poids sec des feuilles du contrôle a varié entre 41 et 45% et a passé à 34-38% sous sécheresse.

La racine a changé de 7-8% dans le contrôle vers 12-14% en sécheresse. En ce qui concerne les fruits, la différente longueur du cycle des génotypes n'a pas permis de voir l'effet sur la production.

Le système racinaire a augmenté son poids sec en conditions de déficit hydrique, tandis que la tige a souffert une réduction inférieure à la réduction des feuilles.

Comparant les variétés, on peut dire que la GC8-35 a augmenté le pourcentage de racines en sécheresse plus que les autres et a réduit les feuilles dans un pourcentage inférieur. La raison "root/shoot" a augmenté quand on compare les plantes sous sécheresse avec le contrôle et cette augmentation a été particulièrement équilibrée pour ce cv: une grande augmentation de la racine et une faible réduction de la partie aérienne.

La proportion entre la biomasse totale accumulée et celle des organes de récolte est largement déterminée par les facteurs qui contrôlent la partition des photoassimilats par les différents "sinks" (Setter, 1990). D'après cet auteur, le stress hydrique décroît la croissance des racines et l'expansion de la surface foliaire. La croissance des feuilles est souvent plus affectée que la croissance des racines, ayant la partition des photoassimilats affectée, augmentant la raison "root/shoot" (Bradford et Hsiao, 1982). Cette situation permet à la plante une meilleure capacité d'extraction de l'eau du sol et par contre réduction des pertes d'eau par transpiration par réduction de la surface foliaire.

Le contact physique des racines avec les particules du sol induit des altérations sur la croissance et morphologie des racines (Goss et Russell, 1980). Il semble qu'à cette stimulation puissent être impliquées quelques hormones. On pense que l'ABA accumule à hautes concentrations sur différents organes des plantes qui croissent en conditions de potentiels réduits. Expérimentations réalisées avec maïs ont montré que l'ABA avait un rôle important sur la manutention de la croissance des racines et sur la réduction de la croissance de la partie aérienne. Autres hormones pourront être impliquées, tel est le cas de l'éthylène (Abeles et al., 1992, Spollen et al., 1993). On a attribué à l'ABA le rôle des signaux de la racine qui modulent les réponses de la croissance de la partie aérienne et l'ouverture stomatique, à la sécheresse du sol (Zhang et Davies, 1991)

Conclusions

D'après les résultats de la productivité photosynthétique, de la production de biomasse et de l'effet de la sécheresse sur la composition lipidique des membranes thylacoïdales, on peut dire que la variété 57-422 a eu un comportement très intéressant d'adaptation à la sécheresse. En effet, malgré la sévère réduction sur la photosynthèse provoquée principalement par le contrôle stomatique en conditions de déficit hydrique (elle semble être moins affectée au niveau de la machinerie photosynthétique que les autres cvs), cette variété a en conditions de bonne alimentation hydrique, une productivité photosynthétique élevée, ce qui lui permet des taux raisonnables quand en conditions de déficit hydrique. La 73-30 a une stratégie de fermer les stomates à teneurs relatives en eau élevées, ce qui lui permet de contrôler les pertes d'eau par transpiration et éviter la sécheresse. Elle a la plus haute conductance cuticulaire.

Remerciement

Nous remercions les Drs Paula Scotti, J. Ramalho, F. Lidon, V. Quartin et Eng. José Semedo, Nuno Marques, M.G. Drummod et Pedro Canjumba pour leur collaboration.

References

- Abeles, FB, Morgan, PW and Saltveit, ME. (1992) "Ethylene in Plant Biology, 2nd edn. Academic Press, San Diego.
- Bradford, KJ, TC Hsiao (1982): Physiological responses to moderate water stress. In Lange OL, PS Nobel, CB Osmond, H Ziegler (eds): "Encyclopedia Plant Physiology. Vol. 12B, New Series." Berlin: Springer-Verlag, pp. 264-323.
- Goss, MJ, RS Russell (1980): Effects of mechanical impedance on root growth in barley (*Hordeum vulgare* L.): III. Observations on the mechanism of response. J Exp Bot 35: 577-588.
- Setter, TL (1990): Transport/Harvest Index: Photosynthate Partitioning in Stressed Plants. In: RG Alscher et R. Cumming (eds): "Stress Responses in Plants: Adaptation and Acclimation Mechanisms". Plant Biology Vol. 12. Wiley-Liss pp. 17-36.
- Spollen, WG, Sharp, RE, Saab, IN, and Wu, Y. (1993), "Regulation of cell expansion in roots and shoots at low water potentials. In "Water deficits" Environmental Plant Biology. Bios Scientific Publishers. pp 37-51.

Zhang J, WJ Davies(1987): Increased synthesis of ABA in partially dehydrated root tips and ABA transport from roots to leaves. J Exp Bot 38: 2015-2023.

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS
SECONDAIRE, SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

BURKINA FASO

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE

PROGRAMME LEGUMINEUSES A GRAINES
ET OLEAGINEUX ANNUELS

**Synthèse des résultats de la
recherche sur l'arachide au
Burkina Faso en amélioration
génétique dans le cadre du
Projet Résistance à la
Sécheresse de l'arachide.**

*(Communication présentée à la réunion des partenaires TS3*CT
93 0216, Bamby du 30 Septembre au 2 Octobre 1997)*

Bertin ZAGRE
Didier BALMA
Jean GAUTREAU

IN.E.R.A.
03 B.P. 7192 OUAGADOUGOU 03
Tél : 34 02 69/34 02 70
Téléfax : 34 02 71

Contexte de culture de l'arachide au Burkina Faso

Au Burkina Faso L'arachide est cultivée dans l'ensemble du pays, mais les régions les plus productrices sont celles du centre-est, du sud-ouest, du centre-nord et du sud. La production arachidière au Burkina Faso a toujours subi des fluctuations importantes. Elle a varié en effet de 75.000 t à 160.000 t dans la période 1966-1992 sur une superficie maximale de 290.000 ha. Les facteurs pédoclimatiques sont loin d'être les seuls responsables de la relative stagnation de la production arachidière. Le Burkina Faso exporte moins de 10 % de sa production. Le manque de débouchés commerciaux sur place et à l'extérieur constitue l'une des limites majeures au développement de l'arachide. On peut citer comme autres contraintes principales:

- L'irrégularité des pluies et généralement leur insuffisance surtout dans les régions septentrionales du pays;
- L'absence de fertilisation et la non-maîtrise des techniques culturales par les paysans;
- Les maladies foliaires d'origine virale (rosette, clump) ou cryptogamique (rouille, cercosporioses);
- Les attaques de myriapodes (iules);
- Le manque d'organisation des producteurs et du circuit commercial.

Toutefois les rendements se sont améliorés dans l'ensemble du pays grâce aux efforts de la recherche, passant de 400 à 500 kg/ha au début des années 1983 et de 600 à plus de 700 kg/ha actuellement en milieu paysan. Ils atteignent cependant plus de 2.000 kg/ha en conditions expérimentales contrôlées chez les variétés hâtives et plus de 3.000 kg/ha chez les tardives.

En plus de l'accroissement de la productivité, la recherche doit poursuivre un objectif d'amélioration de la qualité dictée par les exigences de la commercialisation sur le marché de l'arachide de confiserie (présentation du produit, absence d'aflatoxine...) et élargir maintenant son champ d'action vers des activités de pointe (évaluation génétique, techniques d'hybridation plus avancées, biotechnologies etc.).

Les recherches en matière d'arachide ont porté sur l'amélioration variétale, l'agronomie, la protection phytosanitaire et dans une moindre mesure la malherbologie. Ce présent travail fait la synthèse des principaux résultats obtenus jusqu'en 1996 en sélection et s'articule sur les points suivants:

- Contexte de la culture d'arachide au Burkina Faso;
- Contexte de la recherche arachidière au Burkina Faso;
- Acquis de la recherche;
- Besoins de recherche sur l'arachide en condition sèche;
- Perspectives de recherche et conclusions;

Contexte de la recherche arachidière au Burkina Faso

La recherche sur l'arachide a débuté en 1949 avec la création de la station expérimentale de Niangoloko sous la responsabilité principale de l'IRHO absorbé maintenant par le CIRAD. Le climat de cette région du sud-ouest du Burkina Faso correspond à celui de la zone soudano-guinéenne avec des précipitations abondantes pouvant atteindre 1.400 mm en année favorable.

L'ouverture de la station IRHO de Saria (isohyète 850 mm) est intervenue dans les années 1960. Durant les années 1980, la station de Gampéla près de Ouagadougou pour les oléagineux annuels s'est progressivement substituée à celle de Saria. La nouvelle station de Kouaré (230 km à l'est de Ouagadougou) a été ouverte à l'expérimentation arachidière en 1989.

L'avenir de la culture de l'arachide au Burkina Faso est conditionné principalement par les facteurs suivants :

- Sur le plan variétal, création (ou acclimatation) de variétés productives à teneur en huile élevée, précoces et/ou physiologiquement adaptées à la sécheresse, de variétés résistantes aux maladies et aux prédateurs, de variétés de bouche et de confiserie ;
- Sur le plan agronomique, maîtrise des doses de fertilisation, des techniques culturales et suivi de l'évolution du milieu de culture.

Acquis de la recherche

Les résultats sur les variétés très précoces (75-80 jours) et tolérantes à la sécheresse (90 jours) sont obtenues grâce au projet tandis que celles concernant l'huilerie et la confiserie sont l'oeuvre du programme national de recherche.

L'amélioration variétale de l'arachide au Burkina Faso est principalement conduite à partir de deux stations de l'INERA, Kamboinsé et Niangoloko.

Le Centre de Recherches Agricoles et de Formation de Kamboinsé situé à 12 Km de Ouagadougou est chargé de développer les variétés hâtives (90 jours) et très hâtives (75-80 jours) destinées aux zones centre, centre-est, centre-nord et nord où la pluviométrie limitée et le peu de fertilité des sols constituent les principaux facteurs limitants.

Avant 1983, de nouvelles variétés hâtives (90 jours) issues de croisements divers ont été vulgarisées comme TS 32-1 et CN 94 C. Par la suite, des travaux de recherche étendus aux sites de Gampéla (centre du pays), Kouaré (est) et Pobé (nord) ont permis l'obtention de plusieurs types de matériels grâce au soutien du projet Résistance à la Sécheresse de l'arachide: d'une part des variétés ultra-précoces (75-80 jours) à partir de croisements d'origines diverses (Burkina Faso, ISRA-Sénégal et ICRISAT), d'autre part des variétés hâtives (90 jours) dont les qualités technologiques et les caractères de graines permettent leur utilisation sur le marché de la confiserie. Les variétés performantes sans qualités de graines particulières sont destinées à la fabrication d'huile (variétés à teneur en huile élevée) et de pâte d'arachide. Plusieurs variétés ont fait preuve d'excellentes aptitudes et sont susceptibles d'être vulgarisées avec profit. Citons chez les variétés très hâtives de 75 jours et les hâtives de 90 jours (tolérantes à la sécheresse avec des rendements gousses et fanes compris respectivement entre 2185-3115 et 4075-5760 kg/ha) dont les performances des meilleures variétés (rendement gousses et taille des graines) se trouvent résumées dans les tableaux 1, 2 et 3.

Tableau 1 : Résultats des rendement gousses et de la taille des graines des variétés très précoces.

Variétés	rendement gousses en kg/ha	poids de 100 graines en grammes
AHK85-3	1980	31
AHK85-19	1920	29
ICGS-11	2250	36
ICGS-26	1935	31
ICGS-31	1965	33
CHICO (témoin)	1500	28

Tableau 2 : variétés physiologiquement adaptées à la sécheresse de la première sous population.

Variétés	rendement gousses en kg/ha	poids de 100 graines en grammes
21B-3	2390	56
219-8	2480	56
21B-10	2455	57
21B-9a	2580	41
102G-7	2570	43
150J-1-4	2210	45
Chico	2220 (témoin)	24
55-437	2700 (")	32

Tableau 3 : Variétés tolérantes à la sécheresse.

Variétés	rendement gousses kg/ha	rendement fanes kg/ha	poids de 100 graines(g)
110	2600	5015	40
113	2185	5760	36
116	2245	5215	40
117	2585	4370	36
121	2785	5000	37
123	3115	4075	37
55-437	2380 (témoin)	4000	37

En ce qui concerne l'objectif de l'arachide de confiserie plusieurs variétés issues de la série SH 470 et AHK87 se sont montrées très supérieures au témoin QH 243 C, en témoigne la productivité, ou en taille des graines selon le tableau 4 suivant:

Tableau 4 : Résultats des rendement gousses et de la taille des graines des variétés de confiserie par rapport au témoin.

Variétés	rendement gousses en kg/ha	poids de 100 graines en grammes
SH470-Q	2575	50
SH470-T	2530	51
SH470-V	2500	49
AHK87-31	2600	47
AHK87-19	2660	49
QH243C (Témoin)	2200	41

Pour la recherche des variétés d'huilerie plusieurs d'entre elles de la série AHK 87 (tableau 5) ont fait preuve d'une supériorité nette sur le témoin CN 94 C en ce qui concerne les rendements gousses/ha.

Tableau 5 : Résultats des rendements gousses des variétés d'huilerie .

Variétés	rendement gousses en kg/ha
AHK87-4	2685
AHK87-36	2685
AHK87-37	2700
AHK87-38	2730
CN94C (témoin)	2200

La station de Niangoloko près de la frontière ivoirienne, est chargée de la sélection des variétés tardives, semi-tardives et hâtives adaptées à la région sud-ouest du Burkina Faso, zone où l'emprise des maladies foliaires sur l'arachide est importante. Avant 1983, des variétés de cycles divers, résistantes à la rosette ont été créées et vulgarisées telles RMP 12 et RMP 91 tardives, QH 243 C, KH 149 A et KH 241 D hâtives. Depuis lors et jusqu'à maintenant, l'objectif est d'obtenir des variétés résistantes à la rosette, à la rouille et aux cercosporioses tardive et précoce avec une productivité accrue. Plusieurs années d'expérimentations multilocales (1987-1992) en station et en milieu paysan (5 à 6 sites) ont permis de vérifier ou de confirmer la résistance à la rouille d'un certain nombre d'obtentions d'origines et de cycles divers, mais généralement sans répercussions favorables affirmées sur la production des gousses face aux témoins de cycle bien adaptés à la zone. Il y a cependant des exceptions prometteuses. On peut citer entre autres : IC 79-2 I (hâtive), plusieurs numéros de la série IC 79-1 (semi-tardive) et SH 67 A (hâtive).

Gestion du germplasm : Le germplasm se compose des collections nationales et d'introductions diverses. Des prospections effectuées sur le territoire national depuis les années 1960 et des introductions effectuées à partir de divers

pays de tous les continents, ont permis la constitution d'une collection évolutive à Gampéla (cycle court) et à Niangoloko (tous cycles). Les 3 principaux types botaniques d'arachide cultivée y sont représentés : Spanish et Valencia (hâtifs), Virginia (semi-tardif et tardif). La totalité de la collection est mise en terre chaque année à Gampéla et Niangoloko pour en assurer le maintien dans de bonnes conditions de stabilité et de conservation. La collection de Gampéla compte actuellement 420 accessions. Celle de Niangoloko se compose de 291 entrées tardives, 170 entrées semi-tardives, 123 entrées hâtives et 124 variétés ICRISAT résistantes à la rouille ou à la cercosporiose tardive.

Besoins de recherche de la culture de l'arachide en zone sèche.

Les besoins de recherche de la culture d'arachide en conditions sèches au Burkina Faso peuvent se résumer comme suit:

- La sécheresse se manifeste depuis un certain temps non seulement par une diminution importante de la longueur de la saison des pluies mais encore par une présence de poches de sécheresse plus ou moins longues pendant l'hivernage, d'où la nécessité de créer des variétés très précoces (75-90 jours) avec des poids de cent graines supérieurs ou égaux à 40 g et très productives ;
- Création de variétés à double usage (bonne production en gousses et en fanes) compte tenu du fait que les régions sahéliennes ^{sont} des zones d'élevage ;
- Création de variétés résistantes aux iules et aux termites en vue d'obtenir une production de qualité ;
- Création de variétés dont la teneur en huile dépasserait 53% compte tenu du fait qu'une grande partie de la production nationale arachidière est transformée traditionnellement pour l'extraction d'huile ;

Perspectives de recherche et conclusions

L'impact des recherches en matière d'obtention de nouvelles variétés passe par la diffusion de celles-ci dans le milieu productif. Une phase d'expérimentation en exploitation paysanne avec la participation des structures de développement est à son début dans le centre du pays tandis qu'elle se poursuit depuis plusieurs années dans le sud-ouest à partir de la station de Niangoloko.

Pour l'instant, la production d'arachide du Burkina Faso sert surtout à la production d'huile artisanale et à la consommation en graines sous différentes formes (graines bouillies, grillées-salées, pâtes d'arachide etc). Les résultats de la recherche devraient servir à redynamiser la production sous les 3 aspects spécifiques de la sélection telle qu'elle est pratiquée à l'INERA : les nouvelles variétés d'huilerie précoces et très précoces pourraient servir à ré-alimenter un courant de fabrication d'huile industrielle raffinée pour laquelle il existe un marché intérieur et extérieur. Les variétés créées spécialement pour la confiserie pourraient être diffusées pour les besoins de la commercialisation en graines calibrées en mettant l'accent sur la qualité, ce qui ouvrirait des possibilités de rémunération intéressantes sur les marchés des pays limitrophes ou plus lointains. Les variétés de confiserie répondant aux normes supérieures du marché et les grosses variétés de bouche en cours de création ou introduites pourraient servir de matière première à un processus industriel élaboré (projet arachide de bouche) permettant de fabriquer des produits conditionnés à haute valeur ajoutée, affranchis des contraintes de l'enclavement et exportables sur des marchés porteurs tel le marché européen.

L'avenir de l'amélioration de l'arachide au Burkina Faso passe par la création de matériels conformes à des normes internationales plus ou moins contraignantes répondant aux besoins spécifiques des nombreuses utilisations alimentaires.

Pour ce faire la recherche devra mettre en oeuvre tout l'arsenal classique et les techniques nouvelles de l'amélioration variétale (élargissement des bases génétiques par prospections et introductions, techniques électrophorétiques, biotechnologies).

Genetic improvement of groundnut for adaptation to drought in Botswana: A Research Progress Review

Abstract

In Botswana groundnut research results show variation in yield from season to season and site to site. This is also characteristic of the average national crop production and yield. This trend is independent of variety and seems to be related to moisture stress as irrigation research results indicated that as long as moisture is available the varieties perform similarly except for kernel quality and shelling percentage. The varieties identified for release, S 45, S 46, GC 8-13, GC 8-35, Flower -11, ICGS 31 and 55 - 435 fall into this category. However, ICGS 31 and 55 - 437 have proven to be good in low and high rainfall environments respectively.

Although the results of a multiple regression relating yield of pre-release varieties to total rainfall did not explain variation in yield, February relative humidity about 68 percent of the variation. This is expected as groundnuts are mainly planted between end of November and end of December, thus the critical stages for moisture (flowering to pod filling stages) largely fall into the month of February. The results suggest that any breeding and selection for drought adaptation should be conducted under controlled environments to ensure moisture stress on plants during the critical stages of growth.

The differences in yield between on-station (1 500 kg/ha) and on-farm (350 kg/ha) research results suggest that, management is an important component in groundnut production. On-farm research trials with a management package of treated seed of improved variety, early planting, timely weeding and harvesting increased the yields three fold compared to the national yield averages. This indicates that technology transfer for specific packages have to be strengthened.

The introduction of small scale groundnut pre and post-harvest processing to the research program will greatly improve prospects for increased groundnut production.

Introduction

In Botswana, groundnuts are widely grown by small scale farmers, but are especially popular in a few specific districts in the Central, Southern, Francistown and Maun agricultural regions. The national groundnut production and yield fluctuates drastically from year to year. Between 1979 and 1993 the highest production (2 000 metric tonnes/year), area planted (5 000 hectares) and average yield (800 kg/ha) were obtained in 1981, 1980 and 81 and 1983 respectively. The area under groundnut cultivation did not change much over the same period, indicating that any increases in national production might be achieved only through increase in productivity i.e. yield/ha (Ministry of Agriculture, 1993).

Commercial farmers, who constituted only about 1% of the groundnut farmers contributed about 75 % of the total production. This resulted from low yields among the majority of farmers. The level of production is too low to meet country needs, because during that same period, Botswana imported between 50 - 225 tonnes of groundnuts/ year.

Although the fluctuations in yield and production may be attributed mainly to drought, the other major contributing factor seem to be management which accounts for the differences in yield between subsistence farmers (350 kg/ha) and commercial (800 Kg/ha) and between on-farm (350 kg/ha) and on-station research trials (1 500 kg/ha).

Despite these constraints, the yields of groundnuts are generally higher than those of other legumes, thus suggesting a potential for increased production under Botswana conditions. The major bottlenecks are associated with lack of labour for harvesting, threshing and shelling, which provides a potential area

for small scale mechanisation, especially since the crop is widely grown by subsistence farmers. The lack of processing industry for groundnut further compounds the problem as the prices for unprocessed groundnuts are low.

In the past, groundnut research concentrated on the improvement of yield through introduction of high yielding varieties and identification of appropriate management practices for the farming systems. Some of the activities included participation in collaborative breeding work on drought and the evaluation of germ plasm from other institutions. Selection on the basis of earliness, drought tolerance and yield, identified several promising varieties for multi-location and on -farm testing, the results of which are presented below.

Materials and Methods

On -station

Eight promising groundnut lines/ varieties identified from the breeding and variety evaluation programme were included in multi-location trials over a period of 4 years (1992 to 1996). The sites for each year were as shown in the table below. The design used was a randomised complete block with 3 or 4 replications. Each plot had 4 rows of 6 metres, and inter and intra - row spacing 0.75 and 0.10 metres respectively were used. Two border rows were planted around the whole trial. Gypsum was applied at flowering at a rate of 500 kg/ha (225 grams/row). Weeds, pests and diseases were controlled as necessary. The whole plot was harvested at maturity.

Data were collected on emergence and final plant stand, days to 50 percent flower, haulm weight, shelling percentage and 100 seed weight and analysed using analysis of variance procedure and the interactions were split by Additive Main effects and Multiplicative Interaction (AMMI) model (Gauch and Zobel, 1990; Gauch and Fumas, 1991). Although the varieties were tested at a total of 6 sites between 1992 and 1996, only 3 sites received the trial for all the 4 years and the other three sites for only two of the 4 years. Stability analysis was done for yield, by regressing mean variety yield to environmental mean yield. Each site year combination was regarded as an environment, resulting in 17 environments. Influence of climatic factors on groundnut yield was determined by regressing yield on mean monthly rainfall and temperature for the seasons under consideration.

On-farm verification

Some of the pre-release groundnut varieties which had been evaluated in multi-location trials for several seasons and proven to have potential for high production were included in on- farm verification studies to be compared with Sellie the popularly grown variety.

A package for testing was developed by including a management component, which outlined the basic requirements for good groundnut production as follows: Early planting (before end of December, preferably by mid-December), good land preparation, treated seed, weed control , plant populations (at least 50 000 plants / ha) and timely harvesting. The study covered 3 regions; the North-East (Francistown), Ngamiland (Etsha) and Central (Tsetsebjwe) and the villages selected were considered to be located in the major groundnut growing areas of the country.

Results and discussion

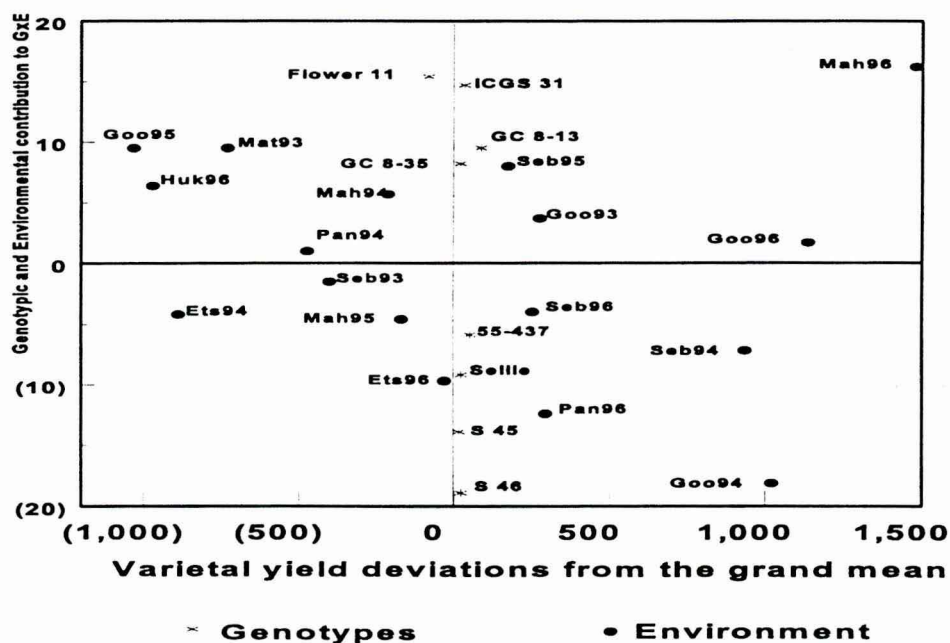
On-station

For the 3 sites at which the trial was conducted for 4 seasons, significant differences in pod yield were observed among seasons and sites, but not varieties (Tables 1 a, b, and c). The season x site, season x variety and site x variety interactions were also significant, indicating differential varietal response to seasons and sites and that seasonal effects are site specific. The largest variation was seasonal (43.4%), followed by season x site interaction (37%). Large variation within and between sites in different seasons reflects the characteristic pattern of the rainfall in Botswana.

Haulm weight was significantly different among sites, varieties and seasons (Table 1 a, b, and c). The season x site, season x variety and site x variety interactions were also significant, with the largest variation associated with season x site interaction (36.7%), followed by season (29.7%). The genotypic variation although significant is small and easily masked by the environment.

The effects of seasons and sites for both pod and haulm yield may be a reflection of the rainfall patterns in terms of distribution, as none of the sites has consistent yearly production (Fig.1). Seasonal variation seems to affect pod yield more than haulm weight (compare 29 % variation for haulm weight to 43 % for pod yield). This is conforms with the observation that in years of drought, the groundnut plants may show good vegetative growth with no or little pod formation.

Fig 1: Contribution of groundnut genotypes and environments to G x E interactions on yield



Significant differences for 100 seed weight were observed among seasons, sites and varieties (Table 1). The season x site, season x genotype and season x site x genotype interactions were also significant. The largest variation was due to the genotype (24.6 %), followed by season x site interaction (23.7 %) and season x site x genotype interaction (11.1 %). Seed size is largely characteristic of a genotype with some variations due to the environment.

Shelling percentage was significantly different among genotypes, sites and seasons. The season x site and season x site x variety interaction were also significant. The variations caused by season, sites and season x site x genotype interactions were 14.3, 14.7 and 14% respectively, thus shelling percentage is largely influenced by the environment.

Overall, the 1995/96 season seems to have been the best and 1994/95 the worst in yield, with Goodhope being the most suitable site for groundnut (Table 1 b& c).

Table 1a: Mean haulm and pod yield, shelling percentage and 100 seed weight of 8 pre-release genotypes evaluated at 3 sites for 4 seasons (1992-1996)

Variety	Haulm yield (kg/ha)	Pod yield (Kg/ha)	Shelling %	100seed weight (grams)
GC 8 - 13	3011	1562	63	38
GC 8 - 35	2864	1432	63	36
S 45	2959	1487	64	48
S 46	2627	1380	63	38
Flower-11	2539	1505	65	40
ICGS 31	3089	1539	66	37
55 - 437	3140	1482	65	46
Sellie	2371	1445	69	46
Mean	2825	1479	64.8	41.1
CV(%)	23.0	20.2	11.1	12.6

Table 1b: Seasonal mean haulm and pod yield, shelling percentage and 100 seed weight of the pre-release genotypes evaluated at 3 sites.

Season	Haulm yield (kg/ha)	Pod yield (Kg/ha)	Shelling %	100seed weight (grams)
1995/96	4253.1a	2326.4a	70a	42.1b
1993/94	2555.2b	1689.7b	63.1c	44.4a
1994/95	2289.9b	1013.4c	66.4b	37.8d
1992/93	2302.8b	886.5c	59.8d	40.2c
Mean	2825	1479	64.8	41.1
CV(%)	23.0	20.2	11.1	12.6
LSD(0.05)	332.1	163.4	3.1	1.4

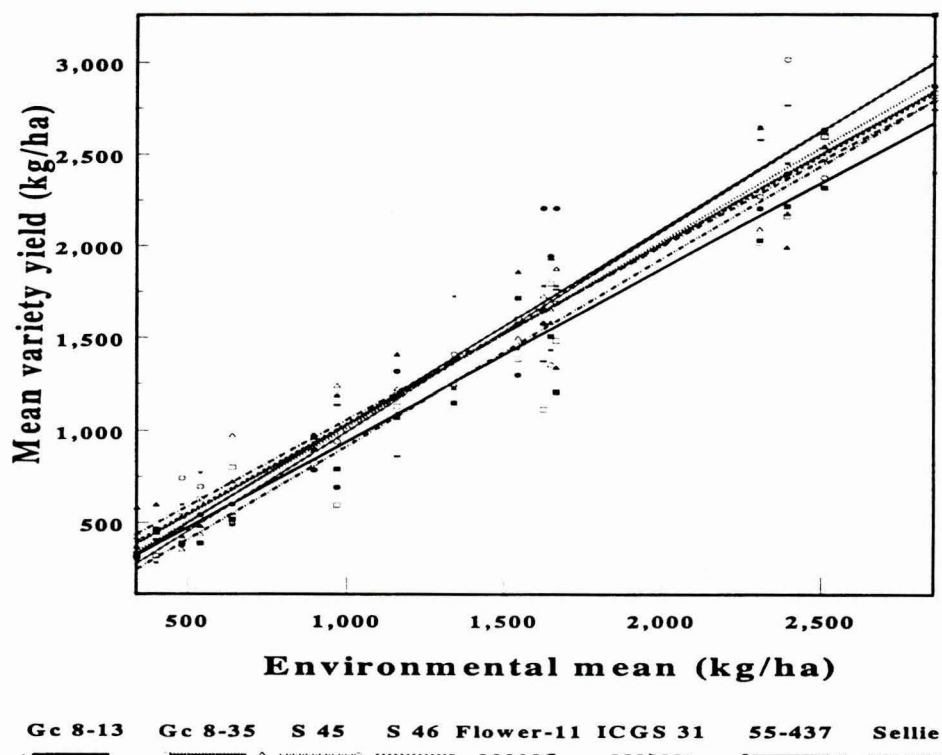
Table 1c: Site mean haulm and pod yield, shelling percentage and 100 seed weight of the pre-release genotypes evaluated for 4 season.

Site	Haulm yield (kg/ha)	Pod yield (Kg/ha)	Shelling %	100seed weight (grams)
Sebele	2424.9c	1445.9b	67.4a	42.4a
Goodhope	3230.1a	1728.9a	67.6a	42.1a
Mahalapye	2820.7b	1262.3c	59.4b	38.9b
Mean	2825	1479	64.8	41.1
CV(%)	23.0	20.2	11.1	12.6
LSD(0.05)	287.9	141.5	2.7	1.2

Means followed by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test

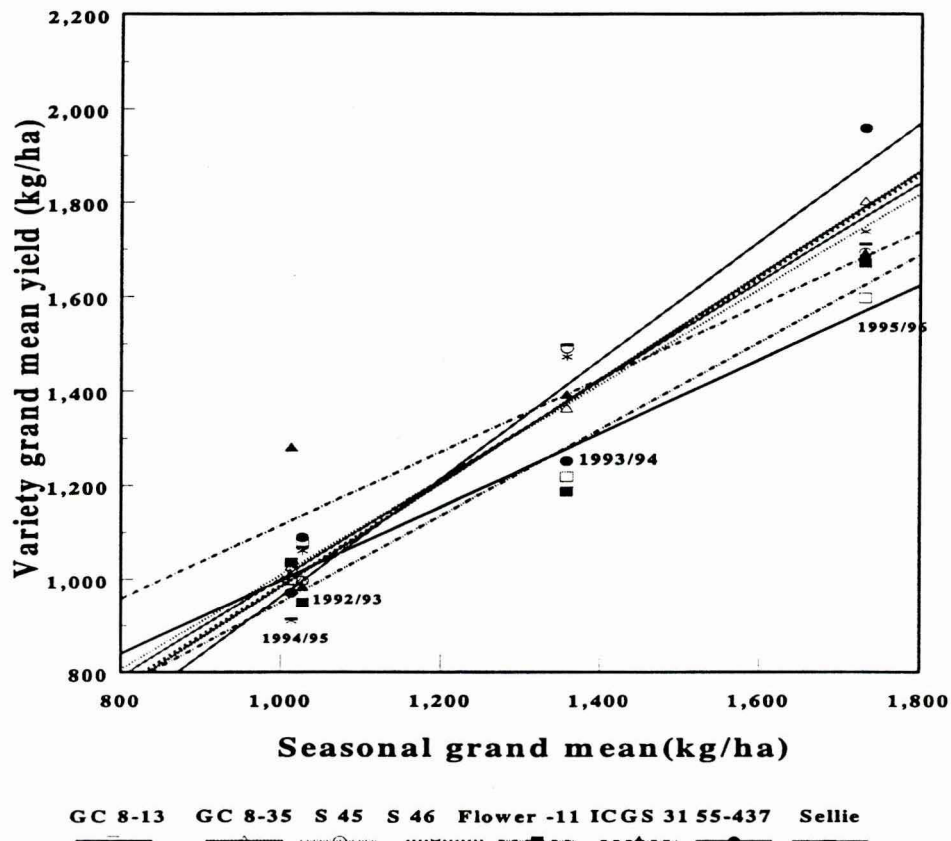
The major differences among varieties were only apparent during the good rainfall years (Fig. 2).

Fig 2: Regression of variety mean yield on environmental mean



ICGS 31 performed comparatively well under poor rainfall seasons of the 4 years, however, it failed to take advantage of better rainfall years (Fig. 3).

Fig 3: Varietal mean yield across sites over 4 years



However, it was the best at all sites during the worst season (Fig 4). In 1995/96 when rainfall was high and well distributed (appendix 1), 55-437 performed well at all sites (Fig. 5).

Fig 4: Varietal mean yield across sites for 1994/95 season

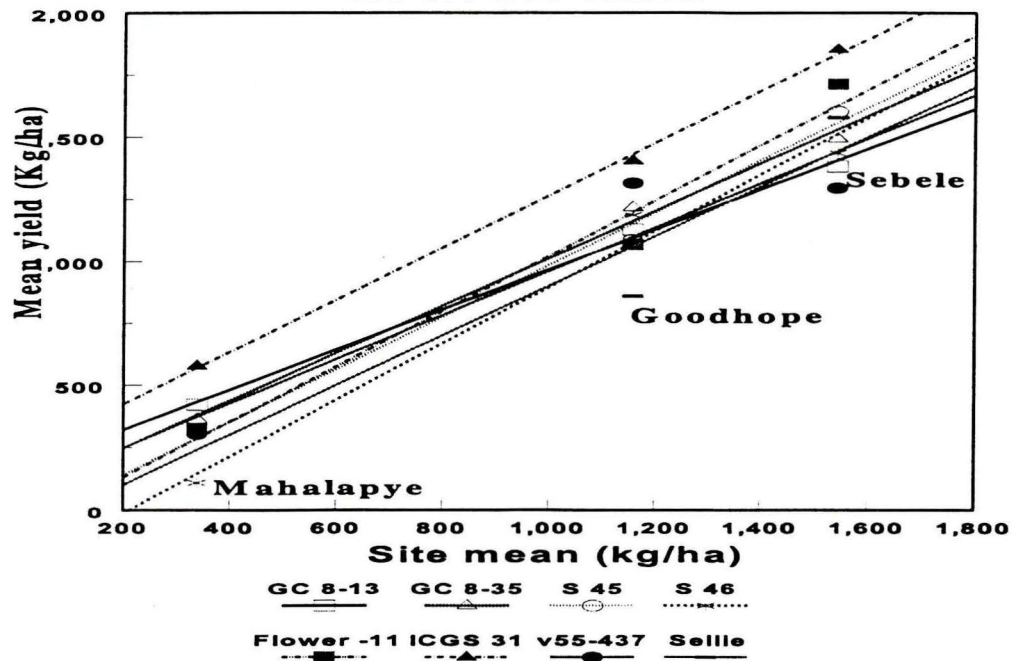
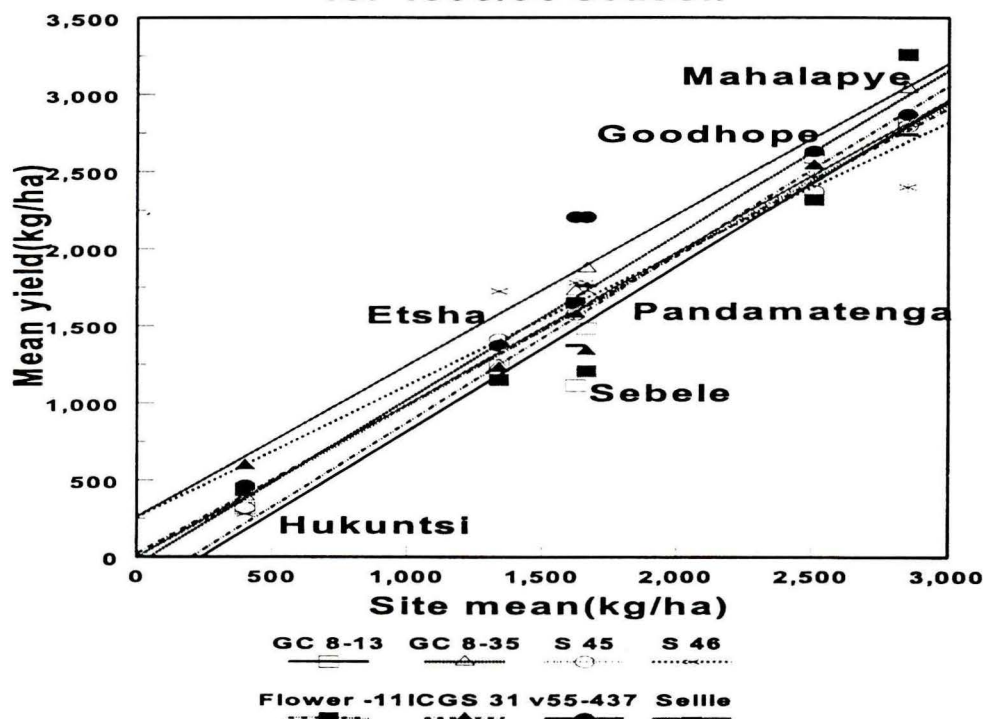


Fig 5: Varietal mean yield across sites for 1995/96 season



For 5 sites at which the trial was conducted for 2 years, pod and haulm yield and 100 seed weight were significantly ($P < 0.001$) different among sites and between seasons, but only among genotypes for haulm and 100 seed weight (Table 2 a, b, and c). The season x site and site x variety interactions were also significant for pod, haulm and 100 seed weight, while season x site was only significant for pod and 100 seed weight ($p < 0.0001$) and season x site x variety for 100 seed weight. The largest variation for pod yield was associated with the sites (43%) followed by season (20.6 %) and season x site interaction (17.9 %). The same trend is shown for haulm weight with site contributing 41.9 %, season 26 % and season x site 11.5 % of the variation. However, the trend for 100 seed weight was different with the largest variation coming from site (25.6 %), followed by genotype (21.1 %) and season x site (18.9 %).

Table 2 a: Mean varietal haulm and pod yield, and 100 seed weight of pre-release genotypes evaluated at 5 sites for 2 seasons (1993/94 and 1995/96)

Variety	Haulm yield (kg/ha)	Pod yield (Kg/ha)	100 seedwt(grams)
GC 8 - 13	2947ab	1639	36.8 de
GC 8 - 35	2671bc	1570	35.4 e
S 45	2712bc	1668	50.5 a
S 46	2407cd	1483	39.5 cd
Flower 11	2408cd	1667	40c
ICGS 31	3092a	1580	37.9cde
55 - 437	2954ab	1669	45.2b
Sellie	2229d	1689	46.8b
Mean	2678	1621	41.5
CV(%)	24	19.9	14
LSD (0.05)	331	-	3

Table 2 b: Mean seasonal haulm and pod yield and 100 seed weight of pre-release genotypes evaluated at 5 sites.

Season	Haulm weight (kg/ha)	Pod weight (Kg/ha)	100seed wt(grams)
1993/94	1794b	1245b	39.8b
1995/96	3561a	1997a	43.2a
Mean	2678	1621	41.5
CV(%)	24.2	19.9	14.0
LSD(0.05)	274.6	117.4	1.4

Table 2 c: Site means of the measured parameters for varieties tested for 2 seasons.

Site	Haulm weight (kg/ha)	Pod weight (Kg/ha)	100seed wt(grams)
Sebele	2037b	1665c	45.8a
Goodhope	4195a	2449a	44.7a
Mahalapye	3831a	1909b	39.3b
Pandamatenga	1398a	1158d	31.6c
Etsha	1927b	922e	46.2a
Mean	2678	1621	41.5
CV(%)	24.2	19.9	14.0
LSD(0.05)	434	185	2.3

Stability analysis for yield

The regression of mean variety yield on environmental mean yield indicated that varieties that are good for low production environments are different from those for high production environments. (Fig. 2). Sellie and 55-437 performed poorly at low production environments, but improved tremendously with the environments S 45, Flower 11, 55-437 and Sellie were the most responsive to better environments, with slopes of over 1 (Table 3). The performance of all the varieties is highly predictable as indicated by the high r value.

Table 3: Stability parameters of the regression of variety mean yield on environmental mean.

Variety	Slope	Standard error	R-square	Mean yield (kg/ha)
GC 8-13	0.93	0.06	0.94	1288
GC 8-35	0.98	0.05	0.96	1392
S 45	1.01	0.06	0.94	1387
S 46	0.97	0.07	0.92	1393
Flower-11	1.01	0.06	0.95	1288
ICGS 31	0.94	0.07	0.93	1403
55-437	1.06	0.08	0.93	1422
Sellie	1.08	0.05	0.96	1394

≠ too comp in slope

The slopes of all the variety regression lines were significantly ($P > 0.0001$) different from zero but only those for GC 8-13 and ICGS 31 were significantly different ($P > 0.001$) from Sellie (the popularly grown variety) and 55-437 (the standard for drought). They had the lowest slopes of the regression line, indicating stability in production across environments (Table 4). The results indicated that in terms of yield, all the varieties were similar in performance except, the most stable ones GC 8-13 and ICGS 31 tended not to take full advantage of a good environment (Fig. 3). This confirms previous research results that when moisture is adequate, the varieties are of similar performance except for kernel quality and yield (Ministry of Agriculture, 1993).

Table 4: Probability values of pair-wise comparison of the slopes using T-test

Variety	GC 8-35	S 45	S 46	Flower 11	ICGS 31	55-437	Sellie
GC 8-13	0.211	0.077	0.392	0.736	0.823	0.011*	0.001**
GC 8-35		0.233	0.820	0.465	0.346	0.088	0.012**
S 45			0.409	0.379	0.139	0.320	0.108
S 46				0.404	0.540	0.091	0.020*
Flower 11					0.134	0.314	0.101
ICGS 31						0.023*	0.003**
55-437							0.669

The regression of yield on the climatic factors indicated that only February relative humidity explained 68 % of the yield variation. This is expected as groundnuts are mainly planted between end of November to end of December, thus the critical stages for moisture (flowering to pod filling stages) largely fall into the month of February.

On-farm verification

In the 1995/96 season most of the farmers who participated in the study planted early according to the recommendation. In both Etsha and Francistown significant varietal differences were observed in pod yield/ha (Table 5), but significant differences among farms were observed at all the villages (Table 6). Variety Flower -11 showed superiority in pod yield over the other varieties at Etsha and Francistown. Shelling percentages among varieties were similar at Etsha and above 60 %, a good indication of pod fill and seed yield.

Table 5: Groundnut yield, plant population and shelling percentage of the tested varieties (1995/96)

Variety	Francis- town	Tsetsebjwe		Etsha		
	Pod yield (kg/ha)	Plant population (000 plants/ha)	Pod yield (Kg/ha)	Plant population (000 plants/ha)	Pod yield (kg/ha)	Shelling %
Sellie	674.8	118	493	30	747.3	68.2
Flower-11	940.2	86	183	26.7	1239.4	64.5
55-437	669.6	141	265	30.4	786.2	69.8
GC 8-13/35	-	-	-	29.9	862.2	63.5
S 45/46	591.7	-	-	-	-	-
ICGS 31	-	127	244	-	-	-
Mean	719.1	296.6	118.2	29.3	908.5	66.5
CV(%)	40	102.7	31.3	13.8	22.3	12.3
LSD(0.05)	251				279.1	

Table 6: Groundnut yield, plant population and shelling percentage differences among farms (1995/96)

Farms	Francistown		Etsha				Tsetsebjwe	
	Sowing date	Pod yield (kg/ha)	Sowing date	Plant pop (000)	Pod yield (kg/ha)	Shelling percent	Sowing date	Pod yield (kg/ha)
1	28Nov	750	21 Dec	25	835	57.7	1 Dec	909.6
2	Early Dec	805.3	20 Dec	31.5	800	63.7	19 Dec	202.5
3	7 Dec	499.4	16 Dec	29.9	1192	63.4	22 Jan	74.2
4	7 Dec	839.4	17 Dec	34.7	620.3	72.2	20 Jan	0
5	LateDec- early Jan	358.4	21 Dec	25.1	1095	75.5	-	-
6	7 Dec	1222						
7	7 Dec	610						
8	Mid Dec	858						
9	6 Dec	611						
10	6 Dec	997						
11	30 Nov (researcher Managed)	360						
Mean		719.1		29.3	908.5	66.5		296.6
CV(%)		40		13.8	22.3	12.3		102.7
LSD(.05)		416.5		-	279.1	-		487.1

All farmers at Etsha observed timely sowing and weeding according to the recommendation. At Tsetsebjwe, farmers 1 and 2 planted within the recommended time, but farmer 2 harvested the groundnuts before they were fully mature, hence the low yield. For the North East area, the date of planting was observed by the majority of farmers, with the exception of farmer 5. The management, especially weeding, was done satisfactorily except for farmer 11 (researcher managed) which was not weeded.

Although the plant populations were generally low, the yields were relatively high considering the national average yield level of 250- 300 kg /ha. The results demonstrated that in a good rainfall year, in the major groundnut growing parts of the country, late planting and poor weeding are a source of low yields regardless of variety.

Table 3 Plant population, yield and shelling percentage of groundnut varieties tested on -farm (1996/97)

Farm #	Plant population (000 plants/ha)	Pod yield (kg/ha)	Shelling percentage
1	9.8 bcd	721 def	58 abc
2	8.4 cde	437 fg	55.2 bc
3	10.9 abc	1000 dc	61.5 abc
4	11.5 ab	1474 a	68.2 ab
5	11.3 ab	406 g	70.5 a
6	12.5 a	998 cd	71.8 a
7	7.8 de	779 de	72.2 a
8	9.0 bcde	1364 ab	67.5 ab
9	12.7 a	940 cd	66.2 abc
10	10.5 abc	1127 bc	72 a
11	10.5 abc	559 efg	62.2 abc
12	6.7 e	328 g	52.2 a
Variety			
Sellie	9.5 b	897	67.1
ICGS 31	11.1 a	895	63.8
GC 8-13	10.6 ab	750	63
S 46	9.4 b	837	65.3
Mean	10.1	844	64.8
CV(%)	15.9	23.5	13.5

Means followed by the same letter are significantly different according to Duncan's multiple range test.

In the 1996/97 season, highly significant ($P < 0.05$) differences were again observed among the farms in plant population, pod yield and shelling percentage, but varieties were only significantly ($P < 0.05$) different for plant population (Table 3). However, the highest plant population was not necessarily associated with the highest yield. All the fields were planted in good time before the end of December and those with low yield were affected by moisture stress, termites and rats.

Although the plant populations were still lower than the recommended 50 000 plants / ha, most farmers still achieved good yields some of which were about 3 times the national average. By improving management alone, the yields can be improved substantially. The results confirm on-station findings that the varieties perform at the same level of production under similar moisture conditions.

Conclusion

On the basis of on- station results, ICGS 31, 55-437 and GC 8-35 and S 46 would be good candidates for release to the farmers considering their performance and responses during good and poor rainfall years. However, on-farm results indicated that improvement in agronomic practices and consideration of farmer preferences especially as regards kernel size will be beneficial.

Despite improved varieties and extensive agronomic work on plant populations, planting dates, fertilizers and irrigation the farmers have not yet benefited from any of this. There is need to shift emphasis to technology transfer and value addition or processing to improve groundnut production. Breeding and selection for drought should be continued under controlled environments to expose the crop to moisture stress at critical stages.

References

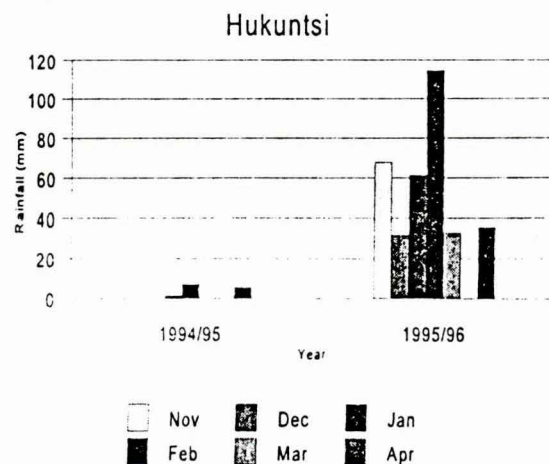
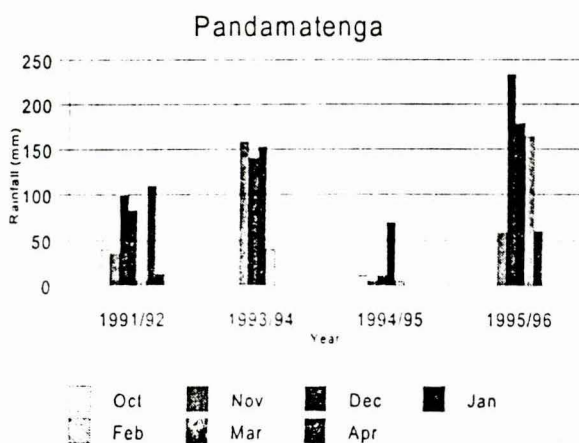
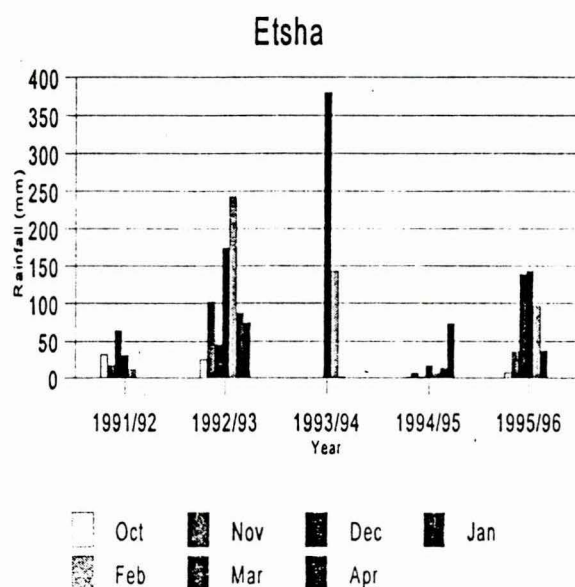
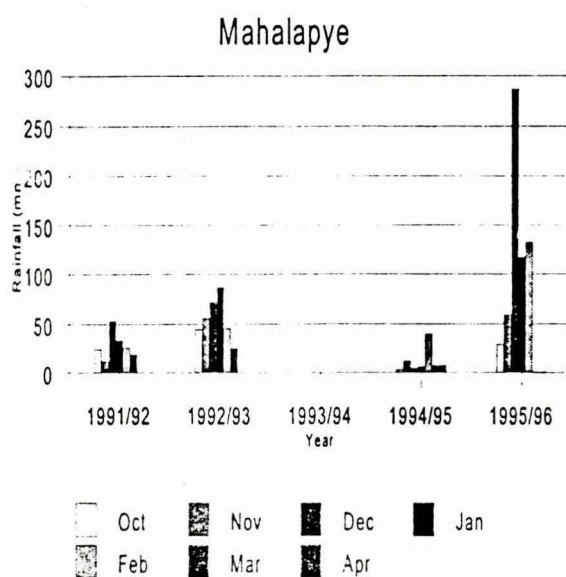
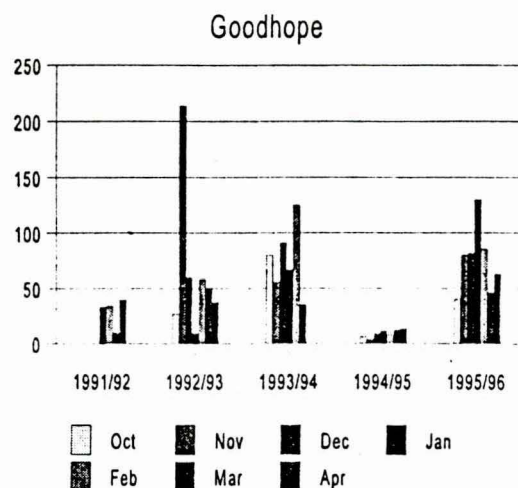
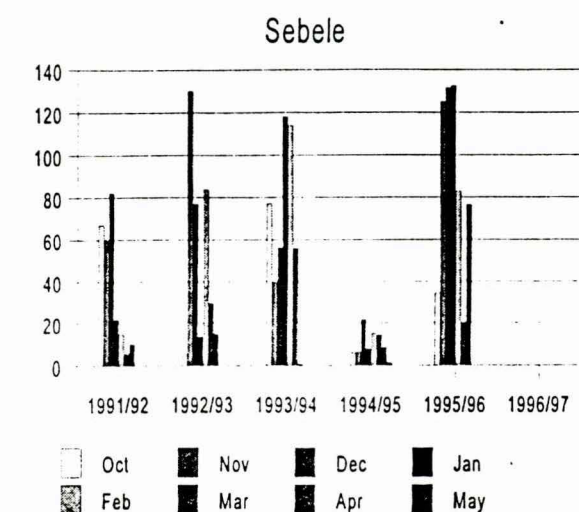
Gauch, Jr. H. G. and R.W. Zobel. 1990. Inputting missing yield trial data. Theoretical and applied genetics 79: 735 - 761.

Gauch, Jr. H. G. and R. E. Furnas. 1991. Statistical analysis of yield trials with Matmodel. Agronomy Journal 83(5): 916 - 920.

Ministry of Agriculture. 1993. Annual report for the crop research division.

Ministry of Agriculture. 1993. Botswana Agricultural census.

Appendix 1: Rainfall distribution across research sites, 1991-1996



Historique et bilan des recherches concernant l'adaptation à la sécheresse chez l'arachide en Afrique et dans le cadre des projets STD

Par J. Gautreau, CIRAD-CA

I - Introduction

Au moment où le projet de recherche STD3 intitulé "l'amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide" approche de sa fin, l'ambition de cet exposé est de retracer rapidement l'histoire et de dresser le bilan résumé des recherches d'abord menées dans ce domaine au Sénégal, premier pays (à notre connaissance) qui se soit préoccupé des conséquences de la sécheresse sur la productivité de l'arachide, puis qui ont été prolongées, formalisées et amplifiées dans les projets conduits avec la participation financière de l'Union européenne jusqu'à maintenant. La réunion entre les partenaires du projet en septembre-octobre 1997 à Bambey est en quelque sorte une pré-conclusion à ces années de travail et doit permettre grâce aux échanges de vue qu'elle suscite de définir les bases d'une nouvelle démarche de recherche scientifiquement efficace et économiquement crédible aux yeux des décideurs. Cette communication en élargissant le cadre de la question et en la replaçant dans la continuité temporelle, espère contribuer à fournir aux participants l'arrière-plan nécessaire pour ce faire.

La sécheresse dans le Sahel ne date pas des années 80 comme on aurait tendance à le croire à la lecture de certaines publications récentes. La première alerte sérieuse, tout au moins dans la région de Bambey, a eu lieu en 1966, année où les semis de l'arachide ont été réalisés les 8 et 18 août. Quant aux recherches entreprises sur ce thème, principalement au CNRA de Bambey, on peut citer 5 publications parues de 1957 à 1962 dans la revue "Oléagineux". Les recherches ont continué sans interruption depuis. Une date importante pour les études générales sur la sécheresse a été la tenue du colloque intitulé "Résistance à la sécheresse en milieu intertropical : quelles recherches pour le moyen terme?" organisé à Dakar Ngor par le CIRAD et l'ISRA en septembre 1984, avec une forte participation des chercheurs "arachide". Les bases scientifiques des projets STD qui ont suivi ont été posées à cette occasion.

II - Etudes sur la sécheresse appliquées à l'arachide, antérieures à 1984

A partir de 1968, le régime pluviométrique des régions sahéliennes a vu son déficit global s'amplifier progressivement tandis que la réduction de la durée utile des pluies s'aggravait sensiblement. Cette dégradation climatique a commandé une accentuation de l'effort de recherche aboutissant à des redéfinitions de la carte variétale du Sénégal (première version formelle en 1973). On connaissait depuis les années 60 l'ampleur des pertes de production provoquées par des déficits hydriques aux divers stades de végétation grâce à des essais au champ (parcelles temporairement couvertes) et des expérimentations en serre. Le choix de la hâtive 55-437 face à d'autres variétés de même cycle résulte d'un processus comparatif engagé antérieurement aux années 70. Cette variété devait à l'époque être cultivée concurremment avec **la tardive 47-16** dans la région de Louga, au cours des années où les pluies de début d'hivernage tardaient **au-delà du 15 juillet**.

On peut distinguer une seconde phase méthodologique dans la recherche avec la mise au point et la réalisation de tests spécifiques de résistance à la sécheresse appliqués systématiquement d'une part à la collection de Bambey qui comptait alors 1500 accessions et d'autre part à certaines lignées fournies par le sélectionneur. En effet, les travaux entrepris par le physiologiste ne pouvaient s'effectuer sans la collaboration active du sélectionneur d'arachide fournisseur de graines, mais il faut souligner aussi qu'aucun accord explicite et formalisé de type pluridisciplinaire n'a existé pendant cette période, ce qui n'allait pas sans inconvénient comme on le verra plus tard. Quoi qu'il en soit, on était bien conscients du fait, à l'époque, que les résultats de ces tests "RS" pris individuellement n'offraient qu'une valeur relative (du fait de leur portée forcément restreinte dans le temps et l'espace) et qu'il s'agissait avant tout de considérer ceux-ci dans leur ensemble au moyen d'une sorte d'"index de sélection" permettant d'extraire des matériels qu'il était ensuite impératif de confirmer au champ par des études comparatives conduites dans diverses situations climatiques et sur plusieurs années consécutives.

Les petits moyens affectés aux recherches de l'époque ne permettaient pas de pratiquer des tests RS très élaborés, avec des matériels coûteux, lesquels n'existaient d'ailleurs pas tous. Quatre tests de laboratoire ou en serre étaient principalement utilisés qu'on ne fait que citer : Le test de germination à pression osmotique élevée (TOG), le test de vitesse de croissance relative (TCR), le test de résistance à la chaleur (TRC) et le test de sensibilité à la sécheresse. Disons brièvement qu'ils impliquaient la concomitance de plusieurs types d'alimentation hydrique et que les rapports de performances obtenus dans ces situations différentes servaient à classer le matériel testé par rapport à des témoins de cycle et de sécheresse.

Les limitations de ces tests étaient multiples (longueur, caractère destructif, manque de discrimination et de reproductibilité, sensibilité aux conditions climatiques de réalisation, manque d'ajustement à l'hétérogénéité des matériels en essai, manque de maîtrise des niveaux de sécheresse etc...). La démarche poursuivie pendant des années a cependant permis d'éliminer par criblages successifs une proportion importante de variétés et de lignées a priori sensibles à la sécheresse pour ne considérer finalement que des matériels réputés plus intéressants au plan des caractères recherchés. Finalement les résultats ont été tangibles : la 55-437 a confirmé sa bonne adaptation aux conditions climatiques de l'époque au Sénégal, au Mali et au Niger. La 59-127 tardive en a fait de même dans des régions peu favorisées du Niger et du Mali face à la 28-206 de même cycle mais sensible à la sécheresse.

Dans une 3^è phase, sans pour autant abandonner les tests précédents, les travaux ont été orientés vers l'étude des paramètres liés à l'économie de l'eau et mesurables au champ, directement sur la plante (variétés et lignées). Des trois paramètres étudiés : transpiration relative, potentiel hydrique et résistance stomatique, seul le second s'est révélé assez maniable, compte tenu des moyens techniques disponibles à l'époque. Les méthodes spécifiques étaient cependant en cours d'amélioration à partir des années 80 avec de nouveaux instruments. Tels quels, ces travaux ont abouti à la création de la variété semi-tardive 73-33 (isolée à partir d'une centaine de lignées-soeurs) qui a prouvé depuis ses qualités agronomiques et technologiques et qui est authentiquement sénégalaise (et non des USA ou d'Australie comme cela a été écrit quelque part).

Ainsi, cette longue période caractérisée par la continuité des recherches menées sans grands moyens a cependant permis de distinguer ou de créer des matériels qui encore aujourd'hui constituent une partie essentielle de la carte variétale du Sénégal, et qui sont aussi vulgarisés

dans d'autres pays d'Afrique occidentale et centrale. Elle a permis enfin de fournir un arrière-plan d'acquis bénéficiant aux projets STD actuels en matière de résistance à la sécheresse de l'arachide.

III - Considérations générales sur la conduite d'un programme d'amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse

Les processus de recherche dont il a été question jusqu'à maintenant (partie II) peuvent être considérés comme indirects, à partir du rendement, car soumis à l'interférence d'autres facteurs du milieu et limités par la variabilité élevée de l'intensité de la pression de sélection au cours des années et des générations. Ces méthodes sont aléatoires et lentes. Dès lors qu'on veut franchir pour l'avenir un pas décisif, il faut définir une nouvelle méthodologie permettant d'améliorer l'adaptation à la sécheresse en utilisant **directement** les paramètres physiologiques liés, ce qui impose d'emblée une approche multidisciplinaire intégrée entre bioclimatologiste, sélectionneur et physiologiste.

Après avoir posé les questions préalables à l'élaboration du programme - quelle forme de sécheresse, stades critiques, caractères physiologiques à sélectionner, degré de variabilité génétique de ces caractères, quels tests d'évaluation, quels géniteurs - il faut préciser les types de réponses et les contraintes qu'elles imposent. La physiologie de l'adaptation à la sécheresse a mis en évidence la complexité des phénomènes qui interviennent. Pour être efficace, l'amélioration doit donc porter sur un certain nombre de caractères complémentaires dont il faut fixer le niveau optimal de chacun tandis que les tests de criblage doivent présenter des qualités souvent antinomiques : reproductibles, non destructifs, rapides, applicables à un grand nombre de plantes...

La sélection naturelle et la sélection indirecte à partir du rendement ont eu pour effet de disperser les meilleures expressions des divers caractères d'adaptation dans différentes sources génétiques. Le but de la méthode de sélection à définir ici est au contraire de cumuler le maximum de bonnes expressions de caractères d'adaptation à la sécheresse, ce qui impose de multiplier le nombre de géniteurs de départ et de les choisir pour leurs qualités complémentaires. Il importe également de déterminer l'existence et la nature des corrélations éventuelles entre ces caractères et leur degré d'héritabilité. La mesure des héritabilités (analyse de diallèles) de ces caractères renseignera sur leur degré de complexité génétique. Le type de sélection à pratiquer sera fonction des résultats, des espèces et des objectifs.

De ces conditions préalables résulte la mise sur pied d'un programme d'amélioration pour l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. Les tests physiologiques de criblage servent d'abord à choisir les géniteurs pour un certain nombre de caractères adaptatifs jugés fondamentaux. Par la suite, ils peuvent être utilisés selon deux options : soit en sélection indirecte où les lignées stabilisées soumises à la sécheresse sont criblées à l'aide de tests physiologiques; soit en menant la sélection elle-même au moyen de ces tests. La première voie s'impose lorsque les tests sont trop lourds ou pas assez sélectifs ou lorsque les moyens sont limités. C'est ce qui s'est passé à Bambey et ailleurs jusqu'au début des années 80. L'inconvénient majeur de cette voie est de faire intervenir les tests physiologiques lorsque tout est déjà génétiquement joué. En revanche, l'avantage de la seconde option est de maintenir la pression de sélection sur chaque caractère tout au long du programme d'amélioration.

C'est cette seconde voie qui a été choisie dans le futur programme d'amélioration de l'arachide pour l'adaptation à la sécheresse. En effet, les méthodes classiques de création variétale ont une portée limitée quand il s'agit d'un caractère aussi polygénique et complexe que l'adaptation à la sécheresse : Elles font intervenir un nombre réduit de géniteurs, ce qui limite le nombre de gènes favorables disponibles et elles impliquent un nombre limité de recombinaisons efficaces puisque l'on tend rapidement à l'homozygotie. Elles sont à réserver au cas où un très petit nombre de caractères auront été définis comme déterminants pour l'adaptation à la sécheresse de l'espèce en jeu.

La sélection récurrente présente quant à elle trois avantages majeurs : elle assure un progrès constant en évitant les pertes de variabilité intéressante, elle augmente la fréquence des gènes favorables dans la population, enfin elle multiplie les recombinaisons, ce qui accroît la probabilité de réunir ces gènes dans le même génotype. Cette méthode de sélection demande beaucoup de temps et de moyens mais elle est d'utilisation souple. Chaque population peut servir de point de départ à une méthode classique de sélection. Elle permet l'élargissement par des apports contrôlés de variabilité génétique nouvelle, et aussi d'être temporairement arrêtée si la priorité est mise sur l'extraction de variétés à partir de la population améliorée. Le préalable déterminant pour la réussite du programme est la création de la population de départ : les géniteurs retenus doivent servir de parents initiaux à un schéma de croisement pyramidal permettant de multiplier le nombre de recombinaisons efficaces et de créer une population aux génotypes équilibrés par rapport aux parents. Un programme d'amélioration basé sur la sélection récurrente ne s'envisage qu'à long terme, mais il s'impose lorsqu'on doit faire intervenir la physiologie de la plante de manière aussi globale et intégrée.

IV - Les projets STD

Les trois projets consécutifs STD conduits avec l'aval de la CEE et de la CORAF sont maintenant à leur 13^{ième} année d'existence. Les trois phases correspondantes du programme de recherche ont été entrecoupées de périodes intermédiaires pendant lesquelles le suivi des travaux a été assuré. La première phase (STD1) a duré de 1985 à 1987, la seconde de 1989 à 1992 (STD2), la troisième (STD3) a commencé en 1994 et devrait se terminer en avril 1998 si une prolongation n'est pas envisagée et accordée. Durant toute cette période les objectifs, les partenaires et les grands axes de recherches sont restés pratiquement les mêmes (ainsi que le titre). Ce projet s'est donc inscrit dans la durée et la continuité, conditions favorables qui lui ont permis d'atteindre les résultats actuels. Rappelons que l'objectif général est la création de variétés d'arachides mieux adaptées aux conditions de sécheresse du Sénégal et des pays de la zone semi-aride tropicale. La méthode utilisée pour y parvenir s'inspire directement des considérations de la partie III précédente : c'est la sélection récurrente à partir d'un croisement pyramidal de départ à huit géniteurs, sous-tendue par des études physiologiques ayant permis la mise au point de tests de criblages de caractères adaptatifs considérés comme importants et fiables, utilisés conjointement avec des tests d'aptitudes agronomiques pour la fabrication de populations améliorées successives dont on a extrait périodiquement des lignées dans les divers pays partenaires, par des méthodes classiques d'amélioration (principalement la sélection généalogique). La méthode des rétro-croisements (back-cross) a été utilisée parallèlement lorsque les caractères en jeu ne dépendaient que d'un petit nombre de gènes (caractères de précocité, de grosseur de graines).

D'une phase à la suivante, on a pu assister à la réalisation synergique et continue des différentes actions de recherche programmées (sur lesquelles on ne revient pas), du plus fondamental jusqu'au plus appliqué : choix des huit géniteurs selon les critères les plus adaptés à partir desquels les premiers croisements systématiques ont été réalisés et début de la sélection récurrente (tests de familles d'autofécondation : S1), tandis que l'on précisait les différents types de sécheresse rencontrés dans le Sahel, le Nordeste brésilien et le Botswana, qu'on menait les études génétiques devant déterminer les niveaux d'hérabilité et les inter-relations des caractères adaptatifs sélectionnés (études de diallèles montrant l'existence d'une variabilité génétique exploitable, la prédominance des effets additifs et la dispersion des meilleures expressions chez les différents géniteurs), qu'on mettait au point les tests physiologiques définitifs choisis pour la sélection (croissance et volume racinaires, régulation stomatique - transpiration, résistance des membranes à la dessiccation et à la chaleur) et qu'on entreprenait les premiers rétro-croisements pour la précocité (55-437 et 73-30 sur le parent de 75 jours Chico) et la réduction de la grosseur de graines (55-437 sur 57-422). A l'issue de la phase 1 (projet 278-SN), le premier cycle de sélection récurrente était achevé.

A la fin de la phase 2 (projet 104-M) de nombreux résultats étaient acquis : de nouvelles variétés à cycle très court ont donné de bons résultats en expérimentation comparative au Sénégal, au Botswana, au Burkina Faso et au Brésil (ICGS 11, 26, 31, 55, AHK 85-19, GC 8-35); deux cycles de sélection récurrente par tests S1 ont été réalisés, les lignées F2 du second cycle produites au Botswana ayant été mises en comparaison pour débiter le 3e cycle et constituer des sous-populations. Entre-temps, des extractions ont été pratiquées à partir de la première population améliorée pour en sortir par sélection généalogique les lignées les mieux adaptées dans les diverses situations. Les premières lignées F6-F7 extraites au Sénégal et au Botswana ont été comparées à Bambey à la 55-437 et à une nouvelle variété très performante, la Fleur 11, avec des résultats honorables. Quatre back-cross avaient été réalisés sur 73-30, trois sur 55-437 et 57-422.

Simultanément, les études physiologiques concernant le développement du système racinaire, les échanges gazeux et la résistance membranaire étaient réalisées au Sénégal (redistributions et densités racinaires, régulation osmotique) et au Portugal (régulation stomatique, capacité photosynthétique, résistance des membranes protoplasmiques à la dessiccation et à la chaleur). L'étude de la variabilité enzymatique de l'arachide (action n°4) entreprise au laboratoire d'électrophorèse du CIRAD-Montpellier ne mettait pas en évidence un polymorphisme des systèmes enzymatiques suffisant pour étudier la variabilité génétique de l'arachide cultivée et a fortiori pour suivre l'évolution de la variabilité de la population en cours de sélection récurrente. Dans des domaines connexes, les prochaines études pourraient s'orienter vers des introgressions de gènes sauvages vers l'espèce cultivée et suivre les flux de gènes par marquage d'ADN et RFLP.

Consécutivement aux résultats obtenus jusqu'en 1993, les actions de recherche caractérisant la 3e phase (projet 0216) marquaient une évolution nécessaire et logique : si les trois premières actions continuaient, deux autres leur étaient adjointes portant respectivement sur la mise au point d'itinéraires techniques adaptés aux systèmes de culture, et sur l'effet de la sécheresse sur l'infestation par *A. Flavus* et sur la composition en acides gras des graines. Il est difficile de résumer en peu de mots les résultats obtenus durant les 3 années d'un projet qui n'est pas encore à son terme : On peut dire que les programmes de back-cross ont été menés à leur fin et que les lignées qui en sont issues sont en sélection généalogique ou en expérimentations

comparatives en 1997. L'évaluation variétale dans divers sites a confirmé la valeur de nombreuses obtentions récentes : GC 8-35, 55-113, 55-114, 55-138, S 46, 58-136, Fleur 11, 21B 3-10-9, ICGS 26 et 31, 73-33 . Les études physiologiques se poursuivent au Portugal avec les recherches sur les lipides membranaires, les caroténoïdes et les cytochromes en relation avec la tolérance à la sécheresse. Les essais concernant les itinéraires techniques (action 4) ont montré que les rendements élevés étaient associés aux fortes densités de semis (220.000 et 250.000 pieds/ha chez les très précoces au Brésil et au Sénégal) tandis que l'effet de la fumure était variable avec les situations. Au Botswana, la production moyenne en parcelles paysannes obtenue avec les nouvelles variétés vulgarisables ressort au double du rendement national. Les essais concernant l'action 5 menés au Sénégal et en France ont montré que les niveaux moyens des acides oléique et linoléique sont stables quels que soient les sites et les dates de semis tandis qu'à Nioro, les rapports O/L sont variables selon les variétés. Les résultats intervariétaux actuels tendent à confirmer la valeur du critère variation de O/L comme indicateur de tolérance à l'aflatoxine.

V - En conclusion

Le projet de recherche STD 3 touche bientôt à sa fin. Sans attendre son achèvement et l'élaboration du rapport final, les éléments en notre possession permettent d'affirmer que les résultats obtenus jusqu'à maintenant en matière d'étude des mécanismes physiologiques d'adaptation au manque d'eau et de création de variétés d'arachide adaptées à différentes formes de sécheresse sont à la hauteur des espérances de départ. Le programme de sélection ne s'arrête cependant pas avec les projets STD et la réunion actuelle de tous les partenaires doit nous fournir l'opportunité de réfléchir en commun au problème de la suite à donner compte tenu de ce qui a été réalisé et de ce qui reste à faire. Certaines voies ont été explorées, qui peuvent demeurer fructueuses, mais d'autres, peut-être plus élaborées et récentes, sont disponibles; il s'agit de les passer en revue, d'estimer leur faisabilité et de tenter de prévoir leur efficacité pour l'amélioration de l'arachide vis-à-vis de la sécheresse, en relation étroite avec le CERAAS et ses équipes. La présence parmi nous du professeur P. Baradat doit nous aider à définir les axes de recherche formant la base d'un nouveau programme d'amélioration scientifiquement bien structuré et susceptible d'intéresser les décideurs.

Références bibliographiques

On se bornera à citer ci-dessous les références des publications et des rapports qui ont servi à élaborer ce document :

- "Exposé synthétique sur la conduite de l'amélioration génétique de l'adaptation à la sécheresse en fonction de ses mécanismes physiologiques". J.L.B. Khalfaoui, *in* Actes du colloque "La sécheresse en zone intertropicale - Pour une lutte intégrée" - Dakar Ngor, septembre 1984.

- "Les recherches sur la résistance à la sécheresse chez l'arachide menées au Sénégal - Résultats acquis et état actuel". J. Gautreau, *in* Actes du colloque "La sécheresse en zone intertropicale - Pour une lutte intégrée" - Dakar Ngor, septembre 1984.

- Projet TS2A -0104 -M (CD). Rapport final. D. Clavel et D. Annerose - Bambey, juin 1994.

- Projet TS3* CT93-0216. Rapports scientifiques annuels. D. Clavel - Bambey, avril 1995, juin 1996, juin 1997.

Montpellier, septembre 1997

Des outils pour le programme d'amélioration de l'Arachide

Ph. BARADAT

UFR de Génétique et Amélioration des Plantes ENSA.M-INRA de Montpellier

Introduction

L'Arachide est une légumineuse annuelle presque strictement autogame, bien que son mode de reproduction soit fortement influencé par la densité de populations d'insectes pollinisateurs, notamment des *Apidae* (Pesson et Louveaux, 1984). Ses programmes d'amélioration génétique sont, pour l'instant, entièrement fondés sur la sélection et la diffusion en masse de lignées fixées. Cette diffusion est réalisée par l'intermédiaire d'un réseau de multiplicateurs dont la structure et l'importance varient selon les pays. Les objectifs de sélection sont multiples (productivité, qualité des produits, résistances aux maladies et aux ravageurs) mais, dans la zone climatique soudano-sahélienne, l'adaptation à la sécheresse revêt naturellement une importance toute particulière. Cette adaptation fait, à elle seule, intervenir des caractères physiologiques multiples : longueur du cycle végétatif (évitement), mécanismes de résistance eux-mêmes très composites. L'utilisation, pour la sélection, de méthodes multivariées sous forme d'index prenant en compte divers niveaux d'information et différents caractères dont certains peuvent être partiellement antagonistes est donc l'une des évolutions qui paraissent *a priori* les plus souhaitables. Mais les index de sélection ne sont pas les seuls outils que l'on puisse envisager de développer sur l'Arachide.

L'ambition de cette présentation est de faire l'inventaire de quelques méthodologies qui pourraient améliorer l'efficacité du programme d'amélioration de l'Arachide. La plupart de ces méthodes sont détaillées dans les dix jeux de documents qui seront distribués.

L'auteur, spécialisé dans l'amélioration des arbres forestiers, espèces pérennes et allogames, a pour l'instant une connaissance très incomplète des programmes d'amélioration de l'Arachide et de leurs contraintes biologiques et économiques. C'est pourquoi ce document n'a d'autre ambition que d'être le point de départ d'une discussion qui permettra de faire la part des méthodes utiles et réalistes et de celles qui sont inadaptées à l'espèce ou utopiques.

Les pistes retenues devraient par la suite, si nécessaire, faire l'objet de développements permettant de concilier principes généraux et contraintes liées aux expérimentations en cours et aux modes de culture. Avant de les intégrer dans certains programmes nationaux, il serait de toute façon indispensable de les valider par une mise en oeuvre à petite échelle qui permettrait de dresser un bilan dans un avenir proche.

Nous décrivons la nature et les propriétés de huit catégories de méthodes qui ont été choisies peut-être de façon un peu arbitraire mais qui semblent toutes pouvoir trouver une application dans au moins certains programmes d'amélioration de l'Arachide. Les justifications, des développements théoriques et des exemples d'utilisation pourront être trouvés dans les huit documents distribués dont les numéros d'ordre seront indiqués entre parenthèses.

- Sélection multicaractère

La théorie de la sélection multicaractère a été développée pour la première fois par les sélectionneurs animaliers. Elle a pris la forme de ce qu'on appelle des **index de sélection**, qui sont des combinaisons linéaires d'estimations des valeurs génétiques. Tout d'abord limitée à la sélection massale (évaluation des performances individuelles sur le seul phénotype), elle a été progressivement étendue à des formes de sélection plus complexes où l'on peut avoir simultanément plusieurs caractères et plusieurs **sources d'information**. Ces sources d'information peuvent être de nature génétique ou environnementale. Par exemple, on peut utiliser, pour sélectionner sur des lignées en début de phase de fixation (F_2 ou F_3 par exemple), les individus les plus performants qui seront utilisés pour réaliser la génération suivante, la performance moyenne des lignées dans plusieurs stations et la valeur individuelle de chaque pied. Tout ceci suppose que l'on puisse éliminer les **effets macro-environnementaux** (blocs dans station et station) et tenir compte des **interactions** éventuelles entre **effets génétiques et environnementaux**. Un des intérêts majeurs des index de sélection est qu'ils permettent de choisir les gains génétiques réalisés pour les différents objectifs du sélectionneur (**caractères-cibles**) par le biais de leur pondération dans l'index. Par ailleurs, il est possible de tenir compte de toutes les **corrélations génétiques** entre caractères (favorables ou défavorables) et d'utiliser pour la sélection des **caractères prédicteurs** qui n'ont pas forcément un intérêt économique mais présentent à la fois un fort contrôle génétique (qui se traduit par une **héritabilité** élevée) et une bonne **corrélation génétique** avec au moins un des **caractères-cibles** pour lesquels la sélection est réalisée. Le document (1) développe les notions d'héritabilité et de corrélation génétique. Le document (2) décrit en détail différents modèles d'index de sélection et explique les modèles statistiques et génétiques correspondants. Le document (5) donne une vue plus générale et actualisée des index et explicite leur construction dans le cadre d'un programme de sélection réciproque récurrente (**SRR**) en prenant l'exemple de l'Eucalyptus. Il explique comment l'on peut choisir à volonté des jeux de **caractères-cibles** et de **caractères prédicteurs** qui présentent ou non des éléments communs. Ce type de modèle, complètement généralisé permet, par exemple, d'utiliser des marqueurs moléculaires conjointement avec des caractères mesurés au champ pour lesquels on aurait montré une liaison statistique avec un sous-ensemble des gènes qui les contrôlent (**QTL**). Il est donc adapté à ce que l'on appelle la **sélection assistée par marqueurs** dont il est à même de mesurer l'efficacité pour diverses situations. Le document (5) indique également comment surmonter les difficultés liées à la mauvaise précision sur l'estimation des **paramètres génétiques** des populations sur lesquelles s'opère la sélection. Le document (8), enfin, donne sur *Coffea arabica* un exemple d'utilisation d'index pour la sélection d'hybrides entre lignées fixées pour lesquelles on dispose d'un plan de croisement **diallèle** qui reproduit les lignées parentales sur sa diagonale. Un tel schéma pourrait avoir un intérêt chez l'arachide pour autant que l'on ait une bonne corrélation entre la **valeur en croisement** des parents et leur **valeur en lignée** (aspect étudié dans le document), ou bien que l'on puisse propager des variétés hybrides d'Arachide (ce qui ne semble pas envisageable pour l'instant). Il faut noter que *Coffea arabica* est un allo-tétraploïde comme l'Arachide.

- Génération automatique de dispositifs expérimentaux

L'efficacité de la sélection dépend pour une large part de la qualité des dispositifs expérimentaux dans lesquels les unités génétiques à comparer ont été installées. La première qualité d'un dispositif est d'être constitué de **blocs homogènes**, c'est-à-dire implantés sur des portions de la parcelle pour lesquelles les facteurs les plus limitants pour les caractères

observés varient peu. Il en résulte que, d'une façon générale, on cherche à réduire la surface des blocs en jouant sur la dimension des **parcelles unitaires** et sur leur nombre dans chaque bloc. Les dispositifs en **blocs incomplets équilibrés** de diverses natures, dont les lattices, sont en général préférés aux dispositifs en **blocs complets** qui accroissent évidemment la taille des blocs et donc le risque qu'ils présentent des **hétérogénéités**. Ces hétérogénéités entraînent des **interactions** bloc x unité génétique qui ne traduisent pas des différences de **réponse** des génotypes à l'environnement mais simplement des **biais** importants dans leurs conditions de développement moyennes à l'intérieur de certains blocs.

Toutefois, Les dispositifs en blocs incomplets « classiques » mobilisent des **ressources** importantes en techniciens pour leur constitution « sur le papier » et leur mise en place sur le terrain. Par ailleurs, des erreurs, même minimales, leur font perdre leurs propriétés « optimales ». Enfin, ils sont très « rigides » dans le sens où il existe un lien entre la composition des blocs et le nombre d'unités génétiques comparées (qui doit, par exemple, être un carré parfait dans le cas de lattices carrés).

C'est pour cette raison, qu'il y a une vingtaine d'années, l'auteur a largement diffusé la notion de dispositifs en **blocs incomplets aléatoires**. Ce principe s'est imposé, au moins en France, chez les généticiens forestiers. Ces dispositifs ont des propriétés très semblables dans la pratique aux dispositifs en blocs incomplets équilibrés. Il faut, par contre disposer de programmes généraux permettant de traiter des essais factoriels non-orthogonaux. Ces programmes existent maintenant dans une grande quantité de logiciels, dont celui mis au point par l'auteur (**OPEP**). Les essais de ce type sont très robustes, car ils gardent leurs propriétés de base même en cas d'erreurs d'installation. Enfin et surtout, ils réalisent une **indépendance** complète entre le **nombre d'unités génétiques** à comparer et le **nombre de blocs** ainsi que le **nombre de parcelles unitaires par bloc**. On peut par ailleurs les utiliser si les effectifs de plants disponibles pour les diverses unités génétiques sont variables. Enfin, leur réalisation « papier » est totalement automatisée et peut être optimisée en fonction de la cartographie écologique de la **parcelle expérimentale**. Un jeu de programmes permet de réaliser ce type de dispositif en quelques minutes à partir des effectifs de plants en pépinière et d'un descriptif de la configuration de la parcelle expérimentale. On obtient immédiatement la carte du dispositif, et le fichier correspondant, le récapitulatif des emplacements par coordonnées des différentes unités génétiques et... les étiquettes. Le document (4) indique l'architecture d'ensemble du jeu de programmes qui permettent la réalisation de ce type de dispositifs. Le document (2) explique la logique de fonctionnement de ces programmes qui forment un sous-ensemble du logiciel **OPEP** de biométrie générale et génétique quantitative. Le document (3) donne un exemple d'analyse de plans de croisements diallèles de pin maritime installés dans des blocs incomplets à composition aléatoire.

Un dernier élément de souplesse est apporté par la possibilité de restructurer *a posteriori* le dispositif en utilisant le repérage par coordonnées du fichier donnant sa cartographie. Un programme spécialisé réalise cette restructuration en fonction des nouveaux paramètres.

Ce type de dispositif, qui a fait ses preuves, est susceptible d'accroître sensiblement l'efficacité du programme d'amélioration de l'Arachide pour peu que la quantité de travail de techniciens et ingénieurs actuellement nécessaire pour la réalisation des essais comparatifs soit un facteur limitant ou que les contraintes sur le nombre de variétés installables par essai soient trop rigides. Si les dispositifs ignorent le niveau individuel (repérage de parcelles unitaires qui feront l'objet d'une évaluation globale sur la totalité des plants ou sur un échantillon), le

principe d'installation peut être maintenu et les programmes restent utilisables. Toutefois, la méthodologie, conçue pour des **plantes pérennes**, perd une partie de son intérêt.

- Corrélations spatiales

Les dispositifs qui viennent d'être décrits se prêtent à l'« industrialisation » de la mise en place d'essais génétiques. Le repérage par coordonnées des individus (dans la mesure où ils sont bien identifiés et mesurés un par un) donne par ailleurs toute facilité pour utiliser dans le contrôle des effets de l'environnement des méthodes autres que l'analyse de variance avec estimation des effets bloc.

Dans ce cas, on peut ajuster les données individuelles en associant à chacune des observations correspondantes une ou plusieurs covariables définies, par exemple, comme la moyenne des écarts des individus voisins à la moyenne de leur unité génétique d'origine : « **résidus** » d'un modèle d'analyse de variance à un facteur. Une telle méthode utilise les « **corrélations spatiales** » entre individus voisins, dues à des **effets d'environnement commun**. Elle est connue sous le nom de « méthode de **Papadakis** » et présente l'avantage de prendre en compte une variabilité environnementale à petite échelle, pouvant éventuellement intégrer des effets de concurrence. D'autres méthodes plus ou moins équivalentes existent (par exemple, les **demi-variogrammes**). Le logiciel **OPEP** permet une mise en oeuvre très facile de la méthode de Papadakis, en définissant librement les configurations de voisinages à prendre en compte et en générant les covariables à partir d'un nombre illimité de caractères. La technique s'est avérée très efficace sur des essais de descendance de Cocotier. Si l'on n'a pas accès à des données individuelles, la méthode reste utilisable dans son principe mais en perdant beaucoup de sa finesse et donc de son intérêt.

- Interaction génotype x environnement

La notion d'interaction génotype x environnement est essentielle pour identifier les génotypes (lignées, hybrides, variétés synthétiques...) qui possèdent la plus grande plasticité face aux aléas climatiques ou à différentes zones d'utilisation potentielle. Un simple test des effets d'interaction ou une estimation de la variance d'interaction sont totalement insuffisants car ils ne donnent que des informations globales. On peut comparer l'interactivité de divers génotypes par différentes techniques dont on ne citera ici que les plus couramment utilisées :

- leur participation à la somme des carrés d'interaction (notion d'**écovalence**) ;
- les corrélations de rangs entre leurs performances moyennes dans différents milieux ;
- leur régression (linéaire ou non) sur des caractéristiques des milieux.

Dans les modèles de régression, les caractéristiques des différents milieux peuvent être mesurées par les performances moyennes de la même collection de génotypes (régression factorielle).

Le document (2) donne une description détaillée de ces méthodes et de leur mise en oeuvre biométrique. On peut également comparer, de façon symétrique, l'interactivité de différents milieux, les moins interactifs d'entre eux étant *a priori* les plus indiqués pour installer l'essentiel des essais de sélection ou les dispositifs d'évaluation finale des variétés.

- Lois de croisements

Le taux d'allogamie de l'Arachide pouvant être de l'ordre de 6 % et varier selon les conditions climatiques ou la nature et la densité des populations d'insectes, il n'est pas inutile d'avoir des estimations précises de ce paramètre. Cela peut, par exemple, permettre de juger si l'on peut réaliser la multiplication d'un certain nombre lignées en les cultivant sans précautions particulières dans la même parcelle. Le document (6) indique le principe des méthodes permettant d'évaluer, en utilisant des gènes marqueurs (contrôlant la biosynthèse de terpènes et ou codant des isozymes dans l'exemple traité), des **écarts à la panmixie** et, en particulier, des **taux d'autofécondation** ou des **flux géniques** entre populations adjacentes. Toutes ces méthodes font intervenir un contraste de **fréquence génique** entre un individu et ses voisins (estimation des taux d'autofécondation) ou entre populations (estimation des flux géniques). Elles sont d'autant plus précises que ces contrastes sont importants. La prise en compte simultanée de plusieurs loci est évidemment un autre facteur d'amélioration de la précision.

- Structuration de la variabilité génétique

Dans une phase de recherche de variabilité génétique nouvelle pour enrichir le jeu de lignées constituant la population d'amélioration, il peut être utile de définir la structure de la variabilité génétique de populations naturelles ou de cultivars, soit à une échelle géographique importante, faisant intervenir, par exemple, plusieurs pays, soit à une échelle beaucoup plus restreinte (une parcelle ou un groupe de parcelles). Les résultats permettront de définir au mieux l'échantillonnage à réaliser pour avoir une représentation aussi bonne que possible de la variabilité génétique disponible. Le document (7) traite un exemple de structuration à grande échelle et le document (6) un exemple de structuration au niveau de la parcelle. Il est vrai qu'il s'agit d'espèces très allogames (deux pins) avec des flux géniques importants entre populations. Il n'est toutefois pas sûr que ce type d'approche soit utile chez l'Arachide, espèce autogame beaucoup moins polymorphe, où la meilleure stratégie est peut-être de chercher à recombinaison des lignées déjà parfaitement recensées par les sélectionneurs des différents pays concernés par l'amélioration de l'espèce.

- Mise au point de tests variétaux et marquage variétal

Le contrôle *a posteriori* de la commercialisation ou de la culture effective des variétés annoncées (lutte contre la fraude ou des erreurs d'origines diverses) a autant d'importance que la création et la multiplication variétales. A juste titre, le dispositif mis en place au Sénégal pour la diffusion des semences sélectionnées d'Arachide lui accorde une place essentielle. Toutefois, les contrôles utilisent des caractères phénotypiques dont on peut se demander s'ils sont toujours suffisants. C'est pourquoi il serait sans doute utile de disposer de tests d'identification utilisant des gènes marqueurs. De tels tests ont été mis au point et utilisés en routine sur le pin maritime à un coût très raisonnable, en utilisant le profil terpénique d'arbres adultes (test avant récolte) ou de jeunes plantules (validation de lots de graines du commerce) déterminé par chromatographie en phase gazeuse. On peut, en fait, utiliser deux approches différentes :

- soit trouver *a posteriori* des marqueurs ou des combinaisons de marqueurs caractéristiques des différentes variétés ;

- soit marquer les variétés avec des gènes ou marqueurs spécifiques en utilisant un système de back-cross.

La deuxième méthode ne serait évidemment réaliste que pour des variétés très performantes et en nombre limité. Par ailleurs, elle allongerait le délai d'obtention des variétés, sauf si l'on pouvait trouver les marqueurs spécifiques chez les lignées normalement impliquées dans la création variétale.

- Essais de concurrence

Un cas particulier de « culture associée » est celui d'une juxtaposition de différents génotypes d'une même espèce dans une même parcelle de culture. Cette juxtaposition, qui ne saurait être que « statistique » (utilisation en vrac d'un mélange de génotypes) est intéressante s'il existe des synergies favorables, qui peuvent être dues à l'exploitation de ressources différentes (strates du sol, types d'ions minéraux, interception complémentaire de la lumière...). De tels modèles ont été particulièrement étudiés chez les plantes fourragères (la Luzerne en particulier) et les arbres forestiers et des situations de synergie favorables mises en évidence. Sur le plan méthodologique, deux étapes sont réalisées :

- comparaison de n génotypes en parcelles pures et en association binaire avec un autre génotype, en réalisant une « grille diallèle », où les n autofécondations sont remplacées par les **parcelles pures** et les $n(n-1)/2$ autres combinaisons représentent des **parcelles mixtes** que l'on peut, en fait, considérer selon deux points de vue différents : génotype A (mesuré ou « producteur ») en confrontation avec le génotype B (non mesuré, ou « compétiteur ») et *vice-versa*. Une même parcelle mixte réalise donc formellement deux combinaisons « réciproques » d'un plan de croisements diallèle (la signification biologique est évidemment totalement différente). Naturellement, dans ce type d'expérimentation, on peut, comme pour les plans de croisements diallèles, ne réaliser qu'une partie seulement de toutes les combinaisons possibles.

- évaluation, pour les associations les plus performantes, de la proportion optimale des deux génotypes. Il s'agit du modèle de **de Witt**, qui a été développé à l'Institut de Recherches Agronomiques de Wageningen (Pays-Bas). Le document (2) détaille ces deux différents modèles dont le premier utilise une théorie générale du diallèle avec effectifs déséquilibrés et combinaisons manquantes.

On peut, évidemment, essayer pas à pas des mélanges à trois constituants (ternaires), puis à quatre... Il y a là quelque analogie avec les hybrides 3 voies, doubles etc. Un mélange performant comportant un grand nombre de composants, permettra sans doute de redécouvrir la notion de variété synthétique !

Conclusion

Ce bref inventaire, de toute façon très incomplet, cite et décrit brièvement des méthodes qui ont sans doute un intérêt très inégal, et parfois peut-être nul, pour les programmes d'amélioration de l'Arachide. Il s'agit, comme il a été dit en introduction, du point de vue très orienté d'un chercheur qui s'est jusqu'à présent surtout intéressé aux plantes pérennes allogames. Par ailleurs, il n'était pas possible d'obtenir avant cette mission des

informations suffisamment précises sur les détails de la réalisation du programme d'amélioration de l'Arachide au Sénégal et dans les autres pays concernés par cette espèce. Cependant, s'il restait seulement un point méthodologique réellement transférable, le but de cet exposé aurait été atteint. Les documents annexes cités doivent permettre aux chercheurs impliqués dans la sélection de l'Arachide de juger de l'ampleur des adaptations nécessaires pour transférer les méthodes dont le principe aurait été retenu.

Liste des documents annexes précédés de leur numéro utilisé dans le texte

1 - Baradat Ph., 1982. Génétique quantitative. Modèles statistiques et génétiques de base, fascicule I. Document INRA, Laboratoire d'amélioration des arbres forestiers de Bordeaux, 204 p.

2 - Baradat Ph., 1989. Amélioration génétique des arbres forestiers : Eléments méthodologiques. Document INRA, Laboratoire d'amélioration des arbres forestiers de Bordeaux, 204 p.

3 - Baradat Ph. et Desprez-Loustau M.L., 1997. Analyse diallèle et intégration de la sensibilité à la rouille courbeuse dans le programme d'amélioration du pin maritime. Annales des Sciences Forestières **54** (1) : 83-106.

4 - Baradat Ph. et Labbé Th., 1995. OPEP. Un logiciel intégré pour l'Amélioration des plantes pérennes. In : Traitements statistiques des essais de sélection. Stratégies de sélection des plantes pérennes. CIRAD-CP Ed. (385 p.), p. 303-330.

5 - Baradat Ph., Labbé T. and Bouvet J.M., 1995. Conception d'index pour la sélection réciproque récurrente : aspects génétiques, statistiques et informatiques. In : Traitements statistiques des essais de sélection. Stratégies de sélection des plantes pérennes. CIRAD-CP Ed. (385 p.), p. 101-150.

6 - Baradat Ph., Maillart M., Marpeau A., Slak M.F., Yani A. et Pastuszka, 1995. Utility of Terpenes to assess Population structure and Mating patterns in Conifers. In : Population Genetics and Genetic Conservation of Forest Trees, Ph. Baradat, W.T. Adams et G. Müller-Starck Ed., SBP Academic Publishing bv, Amsterdam , p. 5-27.

7 - Baradat Ph., Michelozzi R., Tognetti R. Khouja M.L. et Khaldi A., 1995. Geographical Variation in the Terpene composition of *Pinus halepensis* Mill. In : Population Genetics and Genetic Conservation of Forest Trees (479 p.), Ph. Baradat, W.T. Adams et G. Müller-Starck Ed., SBP Academic Publishing bv, Amsterdam , p. 141-158.

8 - Cilas C., Bouharmont P., Boccara M., Eskes A.B. et Baradat Ph. 1997. Prediction of Genetic Value for Coffee Production in *Coffea arabica* from a Half-Diallel with Lines and Hybrids. 22 p. (à paraître dans *Euphytica*).

9 - Pesson P. et Louveaux J., Pollinisation et productions végétales. INRA Ed. (664 p.), p. 331-334.